

**Fäulnisbedingte Veränderungen des Spektrums
flüchtiger Substanzen im Blut**

vorgelegt von
Jürgen Willmar

aus
Chieming

~~1983~~

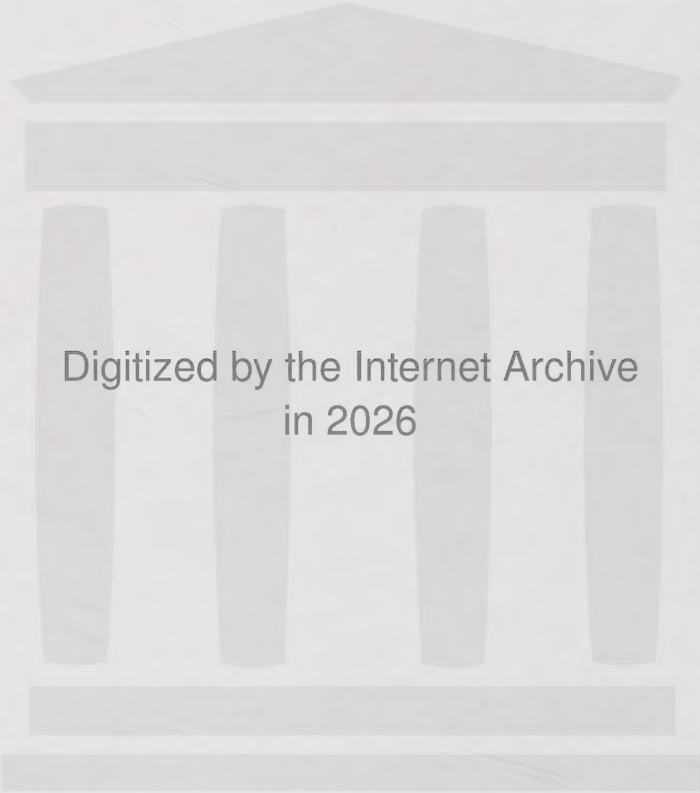
1985

*Das
München*

Fäulnisbedingte Veränderungen des Spektrums

flüchtiger Substanzen im Blut

Jürgen Willmar



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus dem Institut für Rechtsmedizin der Universität München
Vorstand: Prof.Dr. W.Spann

Fäulnisbedingte Veränderungen des Spektrums
flüchtiger Substanzen im Blut

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
in der gesamten Medizin
an der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Jürgen Willmar
aus
Chieming
1983

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter : Prof.Dr. E. Liebhardt
Mitberichterstatter : Prof.Dr. W. Spann
Dekan : Prof.Dr. W. Spann
Tag der mündlichen Prüfung : 3. Oktober 1985

Inhalt

	Seite
1. Einleitung und Zielsetzung	5
2. Methodik	8
2.1. Theorie	8
2.1.1. Prinzip der Gaschromatographie	8
2.1.2. Aufbau und Funktion des Geräts	8
2.1.3. Auswertung	9
2.2. Versuchsbeschreibung	9
2.2.1. Untersuchungsbedingungen	9
2.2.2. Untersuchungszeiten	10
2.2.3. Analysierte Substanzen	10
2.2.4. Gewinnung der Proben	10
2.2.5. Vorbereitung der Proben	11
2.2.6. Beschreibung des verwendeten Gaschromatographen	12
2.2.7. Arbeitsbedingungen	12
2.2.8. Auswertung	13
3. Eigene Ergebnisse	16
3.1. Methanol	16
3.2. Acetaldehyd	21
3.3. Äthanol	25
3.4. Aceton	30
3.5. Isopropanol	33
3.6. Essigsäuremethylester	37
3.7. n-Propanol	37
3.8. Methyl-Äthyl-Keton	42
3.9. Butanol ₂	47
3.10. Isobutanol	51
3.11. Essigsäureäthylester	51
3.12. n-Butanol	56
3.13. Pentanol ₂	60
3.14. n-Pentanol	60
3.15. Isoamylalkohol	60
3.16. Tertiäramylalkohol	60
3.17. Tabellarische Übersicht der Versuchsergebnisse	60

	Seite
4. Diskussion	62
4.1. Methanol	62
4.2. Acetaldehyd	63
4.3. Äthanol	64
4.4. Aceton	66
4.5. Isopropanol	66
4.6. Essigsäuremethylester	67
4.7. n-Propanol	68
4.8. Methyl-Äthyl-Keton	69
4.9. Butanol ₂	70
4.10. Isobutanol	71
4.11. Essigsäureäthylester	72
4.12. n-Butanol	73
4.13. Pentanol ₂	74
4.14. n-Pentanol	75
4.15. Isoamylalkohol	75
4.16. Tertiäramylalkohol	75
4.17. Fehlerdiskussion	75
5. Zusammenfassung	78
6. Literatur	80

1. Einleitung und Zielsetzung

Seit langem schon ist bekannt, daß in Blutproben, die gewisse Zeit bei Raumtemperatur aufbewahrt werden, etliche Veränderungen vor sich gehen. Diese reichen vom Abbau einiger Substanzen, z.B. durch Oxidation oder Hämolyse, über die Vermehrung von im Blut bereits vorhandenen Stoffen, z.B. durch Wachstum von Bakterien und Pilzen (Hefen), bis zur Neubildung verschiedener Substanzen.

Bereits 1879 glaubte Béchamp (1), den Nachweis einer Äthylalkoholvermehrung in faulem Blut erbracht zu haben. Spätere Untersuchungen (Landsberg, 1904,(10) , Widmark,1932,(30)) ergaben widersprüchliche Ergebnisse. Der Grund dieser Uneinigkeit ist wohl darin zu suchen, daß es damals noch keine spezifischen Methoden zum qualitativen und quantitativen Nachweis von Alkoholen in Flüssigkeiten gab. Im Jahre 1936 fand Wagner (25) mit Hilfe des Verfahrens nach Widmark eine Zunahme des Alkoholgehalts bei nicht sterilen Blutproben, die über einige Zeit bei Zimmertemperatur gelagert worden waren. Doch genauere Untersuchungen wurden erst 1950/51 möglich, als Weinig (27) eine Methode veröffentlichte, bei der durch vorbereitende Destillation mit Quecksilbersalzen alle flüchtigen reduzierenden Verbindungen außer Alkoholen und gesättigten Kohlenwasserstoffen zurückgehalten wurden. Letzte Klarheit brachte dann die Entwicklung der Alkohol-Dehydrogenase-Reaktion (ADH) als Methode zum spezifischen Alkoholnachweis durch Bücher und Redetzki (8) und durch Bonnicksen und Theorell (2) im Jahre 1951.

Seitdem wurde die Problematik der Veränderung von Leichenbluten und nicht sterilen Blutproben von verschiedenen Autoren (z.B. Redetzki et al. ,1952 (20); Schwerd und Garhammer,1953/54 (23); Schwerd, 1954 (22); Paulus und Janitzki,1958 (18); Weinig und Lautenbach,1961 (28); Osterhaus und Johannesmeier,1966 (17); Weiler und Reh, 1974 (26);) unter unterschiedlichen Gesichtspunkten untersucht und beschrieben. Die meisten Experimente zur qualitativen und quantitativen Bestimmung von Alkoholen und anderen Begleitstoffen im Blut wurden mit Hilfe der ADH-Methode, dem Verfahren nach Widmark und der m-Nitrobenzaldehydreaktion durchgeführt. Aber auch mit diesen Methoden konnte man noch keine genauen Angaben über etwaige Begleitstoffe des Trinkalkohols oder

gar deren Konzentrationen angeben. Mit Hilfe des Verfahrens nach Widmark und der AHD-Reaktion ließ sich zwar der Äthanolgehalt einer Probe recht genau bestimmen, allerdings traten bei Verdacht auf Vorhandensein höherer Alkohole, die z.B. durch Fäulnis entstanden sein könnten, Probleme auf, da die ADH-Methode nicht spezifisch für Äthanol ist. Es werden nämlich auch die höheren Homologen des Äthylalkohols wie dieser durch das Enzym Alkoholdehydrogenase oxidiert, so daß zu hohe Äthanolkonzentrationen gemessen werden. Zum qualitativen Nachweis dieser "Fäulnisalkohole" diente die m-Nitrobenzaldehydreaktion. Mit dieser Methode war jedoch kein genauer Nachweis über qualitative und quantitative Veränderungen im Blut zu führen, da die Verfahren zu grob und zu ungenau waren. Eine Verfeinerung der Meßgenauigkeit kam erst mit der Entwicklung der Gaschromatographie.

Unter den ersten, die gaschromatographische Untersuchungen am Blut vornahmen, waren Maricq und Molle (14) im Jahre 1958/9. Seitdem wurde die Methode immer mehr verbessert. Es wurden genauere Meßverfahren ausgearbeitet, die Trennsäulen wurden verfeinert, und durch Einführung eines elektronischen Integrationsrechners wurde die exakte quantitative Messung der einzelnen Substanzen ermöglicht. So läßt sich heute eine Konzentration von 0,01 mg pro 1 Liter Flüssigkeit noch bestimmen. 1967 beschrieb Machata (11) eine Methode, um den Blutalkoholspiegel gaschromatographisch zu bestimmen. In einer späteren Arbeit (13) wies er auf die Möglichkeit hin, spezifische Begleitstoffe, die für das einzelne alkoholische Getränk charakteristisch sind, im Blut gaschromatographisch zu identifizieren. Diese Begleitstoffe werden nach dem Konsum von Alkoholika ähnlich wie Äthanol im Verdauungstrakt resorbiert und sind in geringen Konzentrationen in Körperflüssigkeiten wie Blut oder Urin nachweisbar. Das Verhältnis der einzelnen Substanzen zueinander im Blut entspricht dem im ursprünglichen Getränk. Auch Bonte et al.(3),(4),(5) arbeiteten in dieser Richtung und gaben 1978/9 mehrere Arbeiten über die jeweils charakteristischen Begleitsubstanzen aller in Deutschland gängigen Alkoholika heraus. Auf diese Weise kann man anhand einer entnommenen Blutprobe bereits Rückschlüsse über die Art des genossenen Alkohols anstellen. Diese Methode ist heute in der forensischen Medizin etabliert. Man untersucht eine Blutprobe mit Hilfe

des Gaschromatographen, stellt dabei den Äthanolgehalt fest und mißt die Konzentration an flüchtigen Substanzen, die als Begleitstoffe des eventuell genossenen alkoholischen Getränks ins Blut gelangt sind. So lassen sich bei Trunkenheitsfahrten im Straßenverkehr etliche Nachtrunkbehauptungen vor Gericht widerlegen oder in ihrer Glaubwürdigkeit bestätigen.

Hierbei tritt jedoch das Problem auf, daß sich keine Aussage mehr über die ursprünglichen Konzentrationen an flüchtigen Substanzen in einer Blutprobe machen läßt, sobald in ihr auch nur erste Anzeichen einer fauligen Veränderung gefunden werden; sei es, daß ein spezifischer Fäulnisalkohol, nämlich n-Butanol, in einer Konzentration von mehr als 0,1 mg/l vorgefunden wird, oder daß die Probe gar stinkt.

Es kann also sowohl der Äthanolgehalt der Blutprobe zum Zeitpunkt der Entnahme nicht mehr sicher bestimmt werden als auch keine Aussage über die Art des genossenen alkoholischen Getränks gemacht werden, sobald Anzeichen für Fäulnis in der Probe zu finden sind.

Dieses Problem der Blutfäulnis tritt in Laboratorien, die sich mit der Bestimmung von Blutalkoholkonzentrationen befassen, relativ häufig bei der Untersuchung von Proben auf, die entweder nicht steril abgenommen worden sind oder bei denen die Kühlkette beim Transport vom Entnahmeort zum Untersuchungsort unterbrochen worden ist.

Diese Arbeit untersucht nun, wie sich das Spektrum flüchtiger Substanzen im Blut verändert, wenn die Proben über längere Zeit bei Raumtemperatur gelagert werden. Es werden dabei sowohl Stoffe untersucht, die im Blut dadurch, daß sie endogen gebildet werden, stets anzufinden sind, wie z.B. Methanol, Acetaldehyd, Aceton, Isopropanol und geringste Mengen Äthanol, als auch Substanzen, die nur als Begleitstoffe von konsumierten Alkoholika ins Blut gelangt sein können.

Es interessiert uns herauszufinden, ob oder inwieweit sich bei durch Fäulnis veränderten Blutproben noch eine Aussage machen läßt über den Äthanolgehalt der Probe zum Zeitpunkt der Entnahme und über die Art des eventuell genossenen alkoholischen Getränks.

2. Methodik

2.1. Theorie

2.1.1. Prinzip der Gaschromatographie

Die Versuche wurden nach der zur Zeit genauesten Methode zur Bestimmung flüchtiger Substanzen, nämlich mittels der Gaschromatographie durchgeführt. Sie ermöglicht die exakte Trennung von verdampfenden Substanzen. Eine mobile Phase, in diesem Falle das Trägergas, bläst das zuvor verdampfte Testgemisch an der stationären Phase vorbei. Als stationäre Phase dient eine hochsiedende Flüssigkeit. Hier werden die verschiedenen Substanzen voneinander getrennt. Entsprechend dem Verteilungskoeffizienten zwischen mobiler gasförmiger Phase und stationärer flüssiger Phase verlassen die aufgetrennten Gase nacheinander die Trennsäule.

2.1.2. Aufbau und Funktion des Gaschromatographen

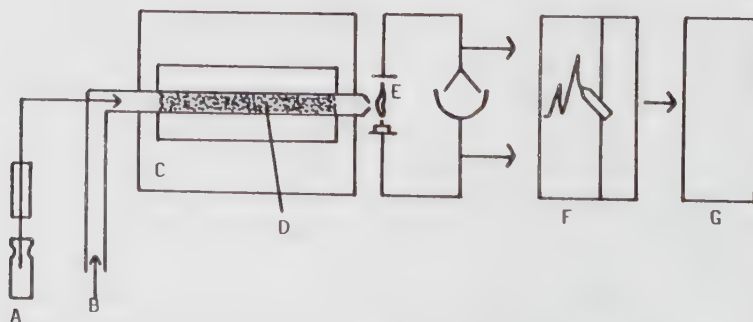


Abb. 1

Eine bestimmte Menge des flüssigen Untersuchungsgemisches wird im Wasserbad inkubiert, wodurch die flüchtigen Substanzen verdampft werden (A). Nun entnimmt eine feine Nadel eine genau festgelegte

Menge des gasförmigen Testgemisches und führt sie mit Hilfe des Trägergasstroms (B) in die Trennsäule (D). Diese befindet sich in einem Raum konstanter Temperatur (C). Das gasförmige Gemisch wird in der Trennsäule in seine Bestandteile aufgespalten, die nun nacheinander die Säule verlassen. Dabei streichen sie an einem Flammenionisationsdetektor (E) vorbei, der im Spannungsfeld zweier Elektroden liegt. Die getrennten Gase werden durch die Flamme ionisiert und bewirken einen Stromstoß, der vom Schreiber (F) registriert wird.

2.1.3. Auswertung

Der Schreiber (F) registriert die einzelnen Stromstöße und zeichnet sie in Form von sogenannten Peaks (deutsch: Gipfeln) auf. Jeder Peak entspricht einer unterschiedlichen Substanz. Anhand der Zeit, die vom Start bis zum Auftreten des Peak verstreicht (=Retentionszeit), kann man die einzelnen Stoffe identifizieren. Man vergleicht die jeweilige Retentionszeit mit Eichchromatogrammen, die durch gaschromatographische Untersuchungen der jeweiligen Reinsubstanzen gegeben sind. Ein angeschlossener Rechner (G) integriert die Fläche unter dem jeweiligen Peak, welche der Menge der gefundenen Substanzen entspricht, und ermöglicht somit auch eine quantitative Auswertung.

2.2. Versuchsbeschreibung

2.2.1. Untersuchungsbedingungen

Ziel des Versuchs ist es, die Verhältnisse, unter denen die Blutproben vom Entnahmezeitpunkt bis zur Untersuchung zu faulen beginnen, möglichst genau nachzuahmen. Dazu wurden die verschlossenen Röhrchen mit den Bluten bei Raumtemperatur über einen Zeitraum von drei Wochen gelagert und zu verschiedenen Zeiten gaschromatographisch untersucht.

2.2.2. Untersuchungszeiten

Die erste Analyse fand unmittelbar nach Entnahme der Blutprobe statt, die zweite nach 48 Stunden, die dritte nach 7 Tagen, die vierte nach 14 Tagen und die letzte nach drei Wochen.

2.2.3. Analysierte Substanzen

Die Untersuchung umfaßte sowohl Substanzen, die wegen ihrer endogenen Entstehung stets im Blut vorzufinden sind, wie Methanol, Acetaldehyd, Äthanol, Aceton und Isopropanol, als auch solche Stoffe, die physiologischerweise in Körperflüssigkeiten nicht anzutreffen sind. Diese können über den Magen-Darm-Trakt, über die Atemorgane oder perkutan resorbiert worden sein. Am häufigsten jedoch werden solche Substanzen als Begleitstoffe alkoholischer Getränke aufgenommen und in die Blutbahn geleitet.

Bei den analysierten Substanzen handelt es sich im einzelnen um folgende organische Verbindungen:

Methanol	Butanol ₂
Acetaldehyd	Isobutanol
Äthanol	Essigsäureäthylester
Aceton	n-Butanol
Isopropanol	Pentanol ₂
Essigsäuremethylester	n-Pentanol
n-Propanol	Isoamylalkohol
Methyl-Äthyl-Keton	Tertiäramylalkohol

2.2.4. Gewinnung der Proben

Um sowohl Blutproben zur Verfügung zu haben, bei denen nur die im endogenen Stoffwechsel entstehenden Substanzen zu erwarten waren, als auch solche Proben, die mit großer Wahrscheinlichkeit noch zusätzliche Verbindungen enthalten würden, war es notwendig, Nüchternblute und Alkoholisiertenblute zu untersuchen. Von den 32 analysier-

ten Blutproben waren 12 der Kategorie "nüchtern" mit einem Promillegehalt von weniger als 0,15 ‰ zuzuordnen. Die restlichen 20 Stück wurden aufgeteilt in die Gruppe "leicht alkoholisiert", in die wiederum 12 Proben fielen, und die Kategorie "stark alkoholisiert", in die die letzten 8 Proben einge-reiht wurden. "Leicht alkoholisiert" bedeutete einen Promillegehalt des Blutes von 0,15 ‰ bis 1,0 ‰, "stark alkoholisiert" lag über 1,0 ‰.

Das Experiment wurde mit 26 Leichenbluten und sechs Lebendbluten durchgeführt. Es wurden in der Mehrzahl Leichenblute analysiert, weil diese leichter verfügbar waren als Proben von lebenden Probanden. Da untersuchte Blutproben in der gerichtlichen Medizin zwei Jahre lang aufbewahrt werden müssen und hierbei auch bei Lagerung im Kühlschrank gewisse Veränderungen erfahren, erschien uns Leichenblut besser geeignet als Lebendblut. In Leichenbluten sind nämlich, durch Bakterieninvasion in die Blutbahn und unsterile Probenentnahme bedingt, bereits kurz nach dem Tod ähnliche geringgradige Veränderungen zu erwarten wie sie in Blutproben von lebenden Probanden erst nach einiger Zeit auftreten.

Bei der Entnahme der Leichenblute achtete man darauf, nur von frisch Verstorbenen Blut zu asservieren. Das heißt, die Todeszeit und die Umstände mußten bekannt sein, die Leiche mußte sofort aufgefunden worden sein, und zwischen Eintritt des Todes und Sektion durften höchstens 10 Stunden verstrichen sein. Es wurde während der Sektion möglichst Schenkelvenenblut asserviert, wenn dies nicht machbar war, auch Herzblut. Die sechs Lebendblute wurden mit Nadel und Spritze steril aus der Vena cubitalis entnommen. Die Glasröhrchen, in die die Proben gefüllt wurden, enthielten zwischen Blut und Gummistöpsel noch eine Luftsäule von ein bis zwei Zentimetern. Es ging ja nicht darum, die anaeroben Verhältnisse im Leichnam nachzuahmen, sondern vielmehr darum, die Bedingungen zu simulieren, unter denen zu untersuchende Blutproben tagtäglich zur Analyse geschickt werden.

2.2.5. Vorbereitung der Proben

In ein genormtes Fläschchen wurden 300 mg Kaliumkarbonat gefüllt. (Diese Substanz beschleunigt die Austreibung der zu unter-

suchenden flüchtigen Verbindungen aus dem Blut.) Nun wurden 500 μ l Vollblut mit einer Eppendorf-Pipette in das Fläschchen gegeben. Vor dem Verschließen der Glaskolben wurden noch 100 μ l Standard, eine tertiäre Butanolösung, hinzupipettiert. Die so vorbereiteten Proben wurden vor Beginn der Analyse 30 Minuten lang bei 60° C im Wasserbad des Gaschromatographen inkubiert.

2.2.6. Beschreibung des verwendeten Gaschromatographen (nach (19))

Es wurde ein Gaschromatograph "Multifract F 40" der Firma Perkin-Elmer mit Head-Space-Technik verwendet. Die Belegung der 2 Meter langen Stahlsäule nennt sich "80/100 Carbowax C / 0,2 % Carbowax 1500".

2.2.7. Arbeitsbedingungen

Die Temperatur der Säule betrug 100° C. Der Flammenionisationsdetektor arbeitete mit 140° C, einem Wasserstoffdruck von 0,95 kp/cm² und einem Sauerstoffdruck von 1,3 kp/cm². Als Trägergas diente Stickstoff mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 420 ml/min und einem Druck von 1,6 kp/cm². Die Temperatur des Wasserbades zur Inkubation der Proben betrug 60° C. Die Abschwächung war 1 : 1 bei Einstellung des Meßbereichs auf den Wert 1. Dies stellt die feinstmögliche Einstellung des Geräts dar. Am Programmgeber war eine Analysenzeit von 17 min eingestellt. Die Blaszeit zur Reinigung des Systems betrug 0,2 min, der Druckaufbau dauerte eine Minute, und die Injektionszeit der Nadel in die Probe war drei Sekunden. Jede Probe wurde einmal analysiert.

2.2.8. Auswertung

Unter diesen Arbeitsbedingungen ergaben sich folgende Retentionszeiten, wie sie anhand von Eichchromatogrammen durch Analyse der einzelnen Substanzen in Reinform gewonnen worden waren:

Retentionszeit in min.	getrennte Substanz
0,60	Methanol
0,67	Acetaldehyd
0,83	Äthanol
1,14	Aceton
1,28	Isopropanol
1,43	Essigsäuremethylester
1,56	n-Propanol
1,99	Standard (tertiäres Butanol)
2,50	Methyl-Äthyl-Keton
2,92	Butanol ₂
3,10	Isobutanol
3,20	Essigsäureäthylester
4,25	n-Butanol
5,40	Pentanol ₂
8,12	n-Pentanol
9,30	Isoamylalkohol
10,50	Tertiäramylalkohol

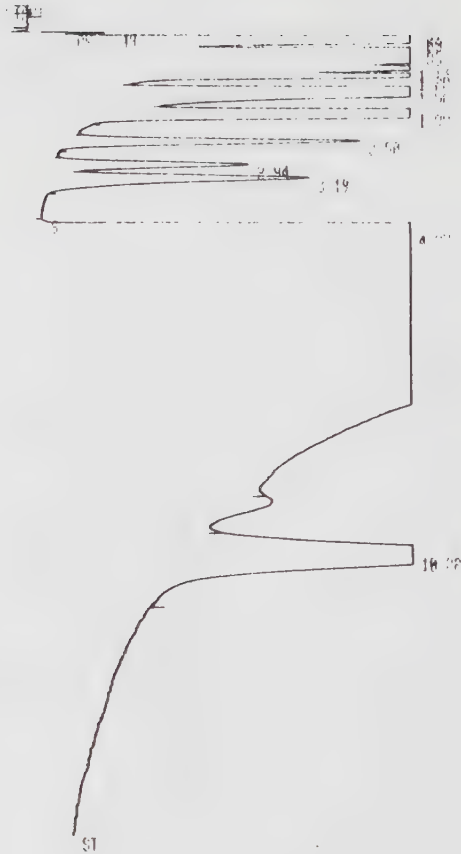
(siehe hierzu auch Abbildung 2)

Der an den Gaschromatographen angeschlossene Schreiber zeichnete die Peaks der getrennten Stoffe mit einem Papiervorschub von 1 cm/min auf. Ein Rechengerät integrierte die Fläche unter den Peaks, die ja proportional der Menge der einzelnen Substanzen war, in Relation zur Fläche unter dem Peak des Standard und druckte das Ergebnis in der Konzentration " g/l " aus.

Für einige Verbindungen, nämlich Acetaldehyd, Äthanol, Methyl-Äthyl-Keton und Pentanol₂, war im Programm des Rechners kein Um-

Abb. 2

Beispiel eines
Chromatogramms



RUN # 424

RT	HEIGHT	TYPE	CALIB	AMOUNT
0.49	3668	PPV		0.000
0.56	40822	VV		0.000
0.60	47937	U VV	1	0.010
0.67	33359	VH		0.000
0.83	7829928	SHD		0.000
1.14	18028	PPV	2	2.256E-04
1.20	33910	TPV	3	0.000
1.56	958184	PPV	5	0.005
1.99	270386	TPV	6	1.000
2.50	12180	PPV		0.000
2.94	8144	TPV	7	7.9516E-04
3.19	10750	TVB	8	0.000
4.23	100715	DB	9	0.010
10.22	15482	BE		0.000

rechnungsfaktor angegeben, sodaß das Gerät bei diesen Substanzen nur die Höhe (englisch: height) des Peak angab. Diese Höhe des Peak ließ sich jedoch mit einem bekannten Umrechnungsfaktor in die Konzentrationsangabe " g/l " umrechnen.

Die Umrechnungen für die einzelnen Substanzen lauten:

für:

$$\text{Acetaldehyd} : \frac{\text{Höhe Acetaldehyd}}{\text{Höhe Standard}} \times 2,7 = c_{\text{Acetaldehyd}} \text{ (g/l)}$$

$$\text{Äthanol} : \frac{\text{Höhe Äthanol}}{\text{Höhe Standard}} \times 0,12 = c_{\text{Äthanol}} \text{ (g/l)}$$

$$\text{Methyl-Äthyl-Keton} : \frac{\text{Höhe Methyl-Äthyl-Keton}}{\text{Höhe Standard}} \times 0,95 = c_{\text{Methyl-Äthyl-Keton}} \text{ (g/l)}$$

$$\text{Pentanol}_2 : \frac{\text{Höhe Pentanol}_2}{\text{Höhe Standard}} \times 2,65 = c_{\text{Pentanol}_2} \text{ (g/l)}$$

Die Blutproben wurden unter folgender Fragestellung untersucht:

1. Welche Substanzen waren stets im Blut zu finden und in welchen Konzentrationen?
2. Welche Substanzen wurden nur in Leichenbluten gemessen, welche nur in Lebendbluten?
3. Welche Stoffe wurden neugebildet und in welchen Mengen?
4. Was wurde nie neugebildet?
5. Welche Stoffe traten kein einziges Mal auf?
6. Welche Konzentrationänderungen wurden festgestellt?
7. Welche Substanzen kamen nur in Blutproben mit einem Alkoholspiegel von weniger als 0,15 ‰ vor?
8. Welche Stoffe wurden nur in Bluten mit einem Promillegehalt von mehr als 0,15 ‰ gefunden?
9. Veränderten sich die Konzentrationen einiger Substanzen in Abhängigkeit vom Äthanolgehalt des Blutes?

3. Eigene Ergebnisse

Im folgenden werden die im Gaschromatographen getrennten Substanzen einzeln aufgeführt und der Verlauf ihrer Konzentration in den Blutproben beschrieben.

3.1. Methanol

Dieser Alkohol trat im Laufe der Versuchsreihe bei allen untersuchten Proben auf. In 23 Blutproben war er von der ersten bis zur letzten Analyse zu finden. Die Konzentrationen, die bei der ersten Untersuchung der Proben gemessen wurden, lagen bis auf zwei Ausnahmen alle zwischen 0,73 mg/l und 9,0 mg/l. Bei einer Analyse unmittelbar nach der Asservierung des Blutes wurde ein Wert von 13,0 mg/l angegeben, bei einer anderen sogar 20,0 mg/l festgestellt.

Bei den übrigen neun untersuchten Blutproben war Methanol nicht in allen Analysen, die während der Versuchsreihe gemacht wurden, zu finden. Bei einer dieser Proben trat während der ersten beiden gaschromatographischen Untersuchungen (direkt nach der Asservierung und 48 Stunden später) kein Methanol-Peak auf. Bei den restlichen Analysen war er dann vorhanden. Acht der Blutproben, in denen Methanol nicht in sämtlichen Analysen gefunden wurde, fielen dadurch auf, daß bei vieren von ihnen der Methanol-Peak nur am letzten Tag der Untersuchung, am 21. Tag also, fehlte und auch bei Wiederholung des Probendurchlaufs nicht zu finden war. Bei vier Proben war sowohl bei der Untersuchung am 14. Tag als auch bei der am 21. Tag kein Methanol-Peak vorhanden. Auch eine Wiederholung der Analyse ergab kein anderes Ergebnis. Das Erstaunliche daran ist jedoch, daß bei den vier bzw. drei vorausgegangenen Untersuchungen stets Methanol in gar nicht niedriger Konzentration (bis zu 12 mg/l) gefunden worden war. Da dieser Alkohol aber, wie wir im folgenden noch näher darlegen werden, keine Tendenz aufweist, im Laufe der Lagerungszeit sich in seiner Menge zu verringern, liegt die Vermutung nahe, daß es sich hierbei um einen Meßfehler des Gaschromatographen handeln könnte. Dieses Phänomen, daß bei der

vierten oder fünften gaschromatographischen Untersuchung eine Substanz nicht auftrat, die bei den vorhergegangenen Analysen in relativ hohen Konzentrationen vorhanden war, und zwar in Mengen, die in keinsten Weise nahe der Nachweisgrenze des Gaschromatographen lagen, kam im Laufe der weiteren Untersuchungen nur noch sehr selten vor. Als wahrscheinlichste Erklärung wird ein Fehler des Geräts angenommen.

Von den 32 untersuchten Blutproben kann in neun Fällen wegen Fehlens einer oder mehrerer Meßwerte keine sichere Aussage über die Veränderung der Methanolkonzentration während des Versuchs gemacht werden. Bei den verbleibenden 23 Fällen war 21 mal ein Anstieg des Methanolgehalts der Proben zu verzeichnen, zweimal blieb die Konzentration konstant. Der höchste Anstieg der Konzentration betrug 32,0 mg/l.

Abbildung 3 zeigt die Methanolkonzentrationen sämtlicher Analysen während der dreiwöchigen Untersuchung. Die x-Achse wurde linear, die y-Achse logarithmisch dargestellt.

Es läßt sich die Tendenz eines Anstiegs der Konzentrationen vom ersten bis zum 21. Tag der Untersuchung erkennen. Des weiteren fällt auf, daß die Meßwerte sehr stark streuen, und zwar bereits von Anfang an. Um trotz der teilweise beträchtlichen Konzentrationsunterschiede von einer Blutprobe zur anderen eine Aussage über den Verlauf der Spiegel während der Dauer des Experiments machen zu können, wurden die bei der ersten Analyse gefundenen Werte gleich Null gesetzt; das heißt, von den späteren Messungen wurden die Ausgangswerte subtrahiert. Die so korrigierten Werte gaben also Konzentrationsunterschiede an. Diese wurden gemittelt und graphisch gegen die Zeit aufgetragen. (siehe Abbildung 4). Es ergab sich ein linearer Anstieg der Konzentration.

Tabelle 1

	mittlerer Anstieg der Methanolkonzentration (mg/l)	Anzahl der Analysen	Streuung (mg/l)
am 2.Tag	0,45	32	1,05
am 7.Tag	3,04	31	4,62
am 14.Tag	7,31	26	6,07
am 21.Tag	12,06	23	9,33

Bei Betrachtung der Meßergebnisse mit Augenmerk auf den Äthanolgehalt der Blutproben fällt auf, daß mit zunehmendem Promillegehalt sowohl die Konzentrationen bei der ersten Untersuchung immer höher werden als auch schnellere Anstiege bei den weiteren Analysen zu erwarten sind.

Die Einteilung der Blutproben nach ihrem Promillegehalt in drei Gruppen ($< 0,15 \text{ ‰}$; $0,15 \text{ ‰}$ bis $1,0 \text{ ‰}$; $> 1,0 \text{ ‰}$) wurde bereits in Kapitel 2.2.4. beschrieben.

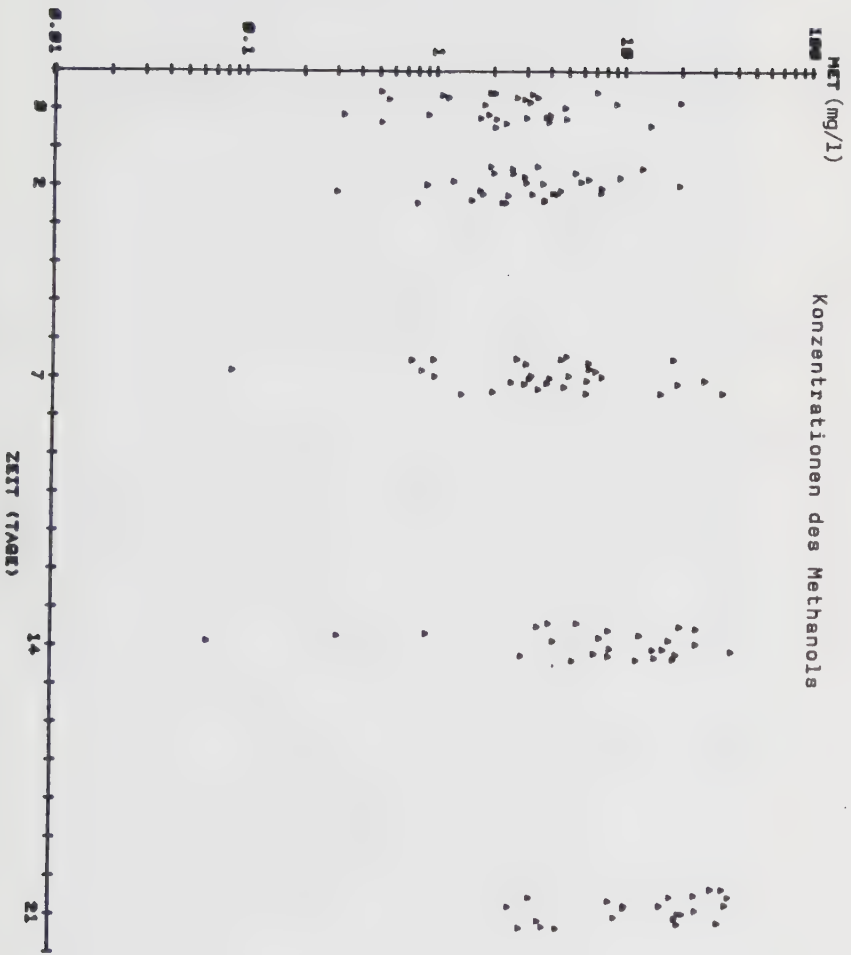
Im einzelnen zeigten sich folgende Ergebnisse:

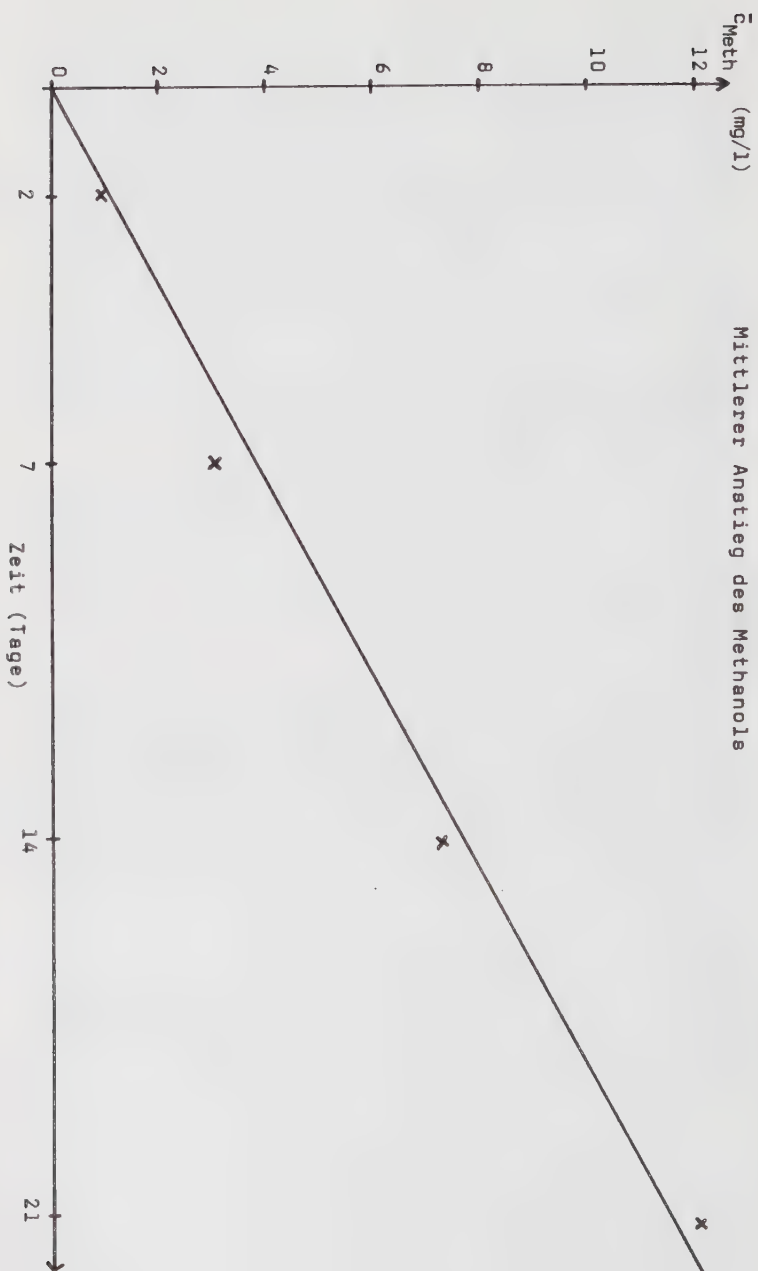
Tabelle 2

Äthanolgehalt	Mittelwert der Methanolkonzentration bei 1. Untersuchung (mg/l)	Mittlerer Anstieg der Methanolkonzentration nach 21 Tagen (mg/l)	Anzahl der Proben
$< 0,15 \text{ ‰}$	1,55	10,05	5
$0,15 - 1,0 \text{ ‰}$	3,88	14,13	8
$> 1,0 \text{ ‰}$	7,13	15,0	8

Methanol wurde also sowohl in Nüchtern- als auch in Alkoholisiertenbluten bereits bei der ersten gaschromatographischen Untersuchung vorgefunden und zeigte über den Verlauf des Versuchs ansteigende Tendenz. In Alkoholisiertenbluten wurden höhere und rascher ansteigende Methanolkonzentrationen gefunden als in Nüchternbluten.

Abb. 3





3.2. Acetaldehyd

Diese Substanz, ein Abbauprodukt des Äthylalkohols, trat mit einer Ausnahme in allen Analysen auf. Bei einer Probe wurde während der letzten Untersuchung nach drei Wochen auch bei Wiederholung des Probendurchlaufs kein Peak für Acetaldehyd aufgezeichnet. Bei den vorangegangenen Analysen dieser Blutprobe war die Substanz mit Konzentrationen bis zu 3,61 g/l gemessen worden. Nachdem eine plötzliche Verringerung der Menge des Acetaldehyds unter die Nachweisgrenze des Gaschromatographen unwahrscheinlich erscheint, dürfte es sich hierbei um einen Fehler des Geräts handeln. Dieselbe Erscheinung wurde bereits im Kapitel 3.1. beschrieben.

Während der dreiwöchigen Lagerung der Blutproben bei Zimmertemperatur veränderten sich die Acetaldehydkonzentrationen folgendermaßen:

In 24 Fällen stieg die Konzentration an, dreimal fiel sie ab, und bei fünf Proben blieb sie konstant. Die Meßwerte bei der ersten Untersuchung lagen alle zwischen 0,03 g/l und 0,60 g/l. Der stärkste Anstieg nach drei Wochen betrug 3,50 g/l; der deutlichste Abfall war mit 0,11 g/l zu vermerken.

In Abbildung 5 sind die Acetaldehydkonzentrationen sämtlicher Analysen gegen die Zeit aufgetragen. Die x-Achse wurde, wie bei den folgenden Substanzen auch, linear dargestellt, die y-Achse dagegen logarithmisch.

Aus dieser graphischen Darstellung ist Folgendes zu ersehen:

- Die Streuung der Einzelwerte ist bereits bei der ersten Untersuchung recht groß und nimmt im Laufe der drei Wochen noch weiter zu.
- Es ist die Tendenz eines Anstiegs der Konzentrationen vorhanden.

Um den Verlauf der Konzentrationsänderungen beurteilen zu können, wurden die recht unterschiedlichen Werte der ersten Untersuchung wieder gleich Null gesetzt; das heißt, von den späteren Messungen wurden die Ausgangswerte subtrahiert.

In Abbildung 6 sind die gemittelten Konzentrationsänderungen

gegen die Zeit aufgetragen. Es ergab sich eine Tangenskurve, die sich einem Wert von ca. 0,30 g/l asymptotisch zu nähern scheint.

Tabelle 3

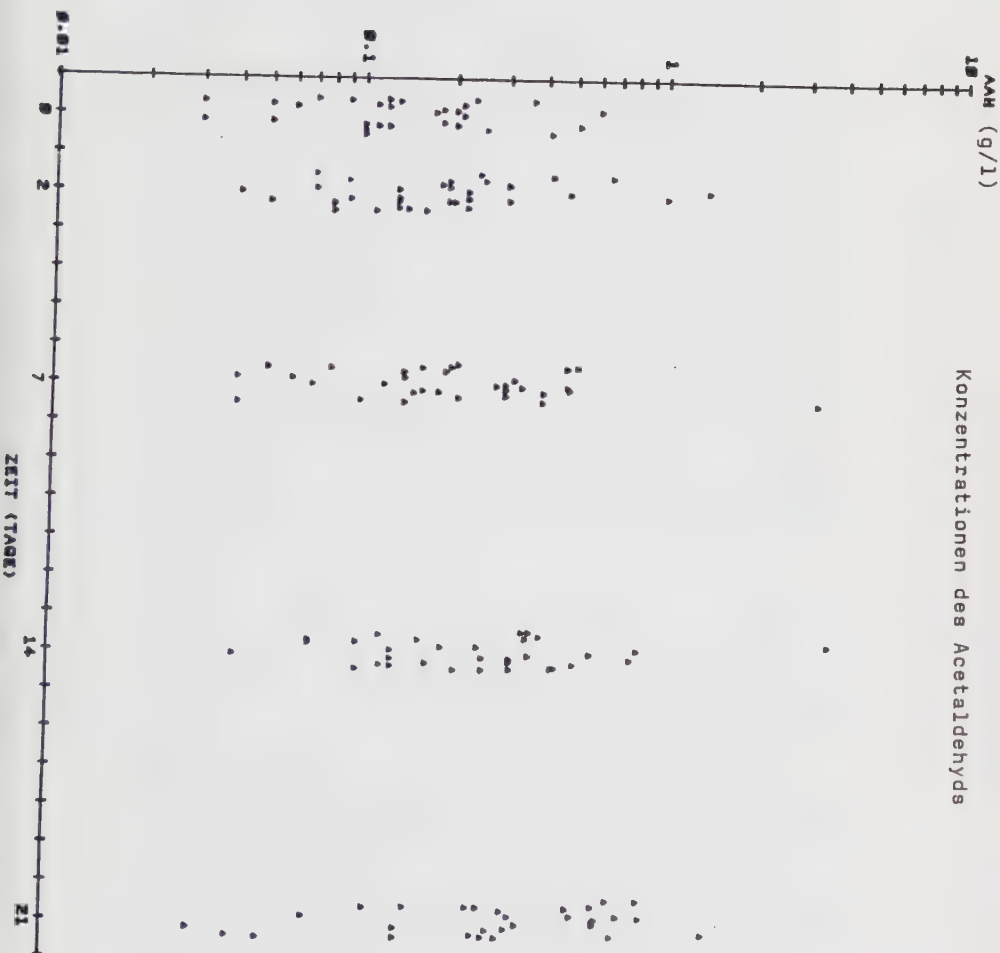
	mittlerer Anstieg der Acetaldehydkonzentra- tionen (g/l)	Anzahl der Analysen	Streuung (g/l)
am 2.Tag	0,09	32	0,29
am 7.Tag	0,15	32	0,56
am 14.Tag	0,23	32	0,63
am 21.Tag	0,24	31	0,25

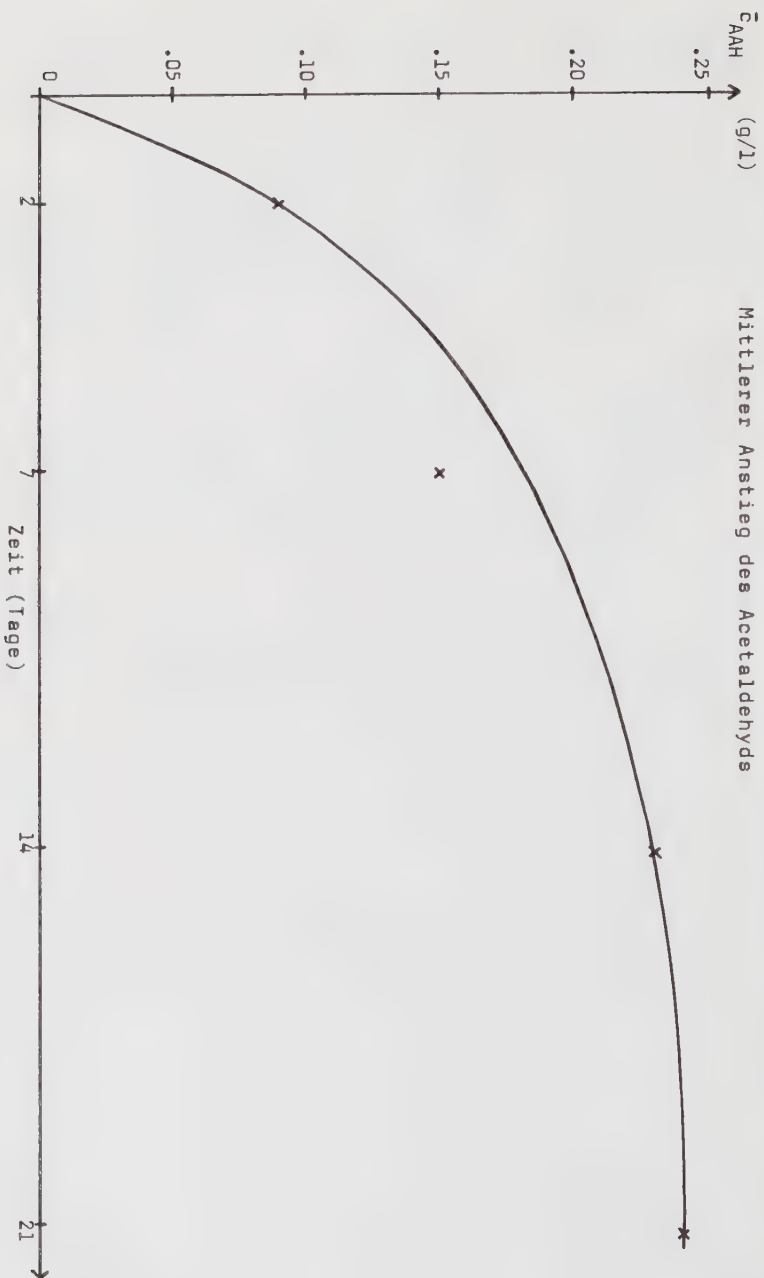
In Nüchternbluten ($< 0,15$ ‰) wurden niedrigere Acetaldehyd-konzentrationen gefunden als in Proben von leicht oder gar stark Alkoholisierten. Die Konzentrationen stiegen bei Alko-holisiertenbluten etwas stärker an als bei Nüchternbluten.

Tabelle 4

Äthanol- gehalt	Mittelwert der Acet- aldehydkonzentration bei 1.Untersuchung (g/l)	Mittlerer Anstieg der Acetaldehyd- konzentration nach 21 Tagen (g/l)	Anzahl der Proben
$< 0,15$ ‰	0,07	0,16	12
0,15-1,0 ‰	0,14	0,54	11
$> 1,0$ ‰	0,33	0,40	8

Acetaldehyd kommt in Blutproben von Nüchternen und von Alko-holisierten stets vor. Bei letzteren wurden höhere und schneller ansteigende Konzentrationen gefunden als bei ersteren.





3.3. Äthanol

Diese als Trinkalkohol bekannte Substanz trat ohne Ausnahme in sämtlichen Analysen auf. Während des Experiments stieg die Äthanolkonzentration in 24 von 32 untersuchten Fällen an, bei sechs Proben blieb sie konstant, und zweimal fiel sie ab. In Blutproben, bei denen ein vorausgegangener Alkoholgenuß sicher auszuschließen war, wurden am ersten Untersuchungstag Werte von 0,01 bis 0,05 g/l gemessen, die wahrscheinlich durch endogene Zuckervergärung bedingt sind. Die Proben mit einem Äthylalkoholgehalt von mehr als 3,0 ‰ bei der ersten Analyse wurden zwar während der übrigen Messungen weiter beobachtet, dann jedoch von der statistischen Auswertung ausgeschlossen. Es handelt sich hierbei um sieben Blutproben.

Der bei den Untersuchungen verwendete Gaschromatograph hat nämlich die Eigenheit, bei sehr hohen Äthanolspiegeln zu niedrige Werte anzugeben. Die größtmögliche Höhe des Peak liegt bei 8,66 bis 8,69 Millionen Einheiten, was in Abhängigkeit von der jeweiligen Höhe des Standards einem Promillegehalt von 3,0 - 4,0 ‰ entspricht. Die Umrechnungsformel der Höhe der Einheiten in die Konzentrationsangabe " g/l " wurde in Kapitel 2.1.3. beschrieben.

Es ist also möglich, daß in einigen Analysen, bei denen die Höhe des Äthanol-Peak den Maximalwert von 8,66 bis 8,69 Millionen Einheiten erreicht hatte, mehr Substanz als angegeben enthalten war. Keine der sieben Blutproben, die bereits am Anfang die größtmögliche Höhe des Äthylalkohol-Peak aufwiesen, fiel im Laufe der dreiwöchigen Untersuchung unter diesen Wert. Das bedeutet, daß die Konzentrationen entweder weiter gestiegen sind, was unserer Messung entging, oder konstant geblieben sind.

Bei einer sehr hohen Konzentration zum Zeitpunkt der ersten Untersuchung wäre es theoretisch sogar möglich, daß der Äthanolgehalt einer Probe während der drei Wochen etwas gefallen wäre, ohne den Grenzwert von 8,6 Millionen Einheiten unterschritten zu haben. Eine fallende Tendenz des Äthylalkoholspiegels erscheint jedoch vom Verlauf der übrigen Meßergebnisse her sehr unwahrscheinlich. (siehe auch Arbeiten von Wagner, 1936 (25); Paulus und Janitzki, 1958 (18); Weinig, Schwerd und Lautenbach,

1961 (29);) Es lassen sich also keine gesicherten Aussagen über den Alkoholgehalt einer Blutprobe mehr machen, sobald die Höhe des Äthanol-Peak ihr Maximum erreicht hat. Außer bei den bereits erwähnten sieben Proben kam dies sonst jedoch nie vor.

Der größte, sicher gemessene Anstieg der Äthylalkoholkonzentration betrug nach 21 Tagen 2,86 g/l, der stärkste Abfall lag bei 0,68 g/l.

Abbildung 7 zeigt alle Promillewerte, die sich aus Höhen der Alkohol-Peaks kleiner als 8,6 Millionen Einheiten errechneten, in Abhängigkeit von der Zeit auf. Die sehr große Streuung der Meßwerte am ersten Untersuchungstag war durch die Auswahl der verwendeten Blutproben bedingt. Es wurde ausdrücklich darauf geachtet, in diesem Versuch sowohl Proben von Nüchternen als auch von Alkoholisierten auf ihren Gehalt an flüchtigen Substanzen hin zu untersuchen. Bei Betrachtung von Abbildung 7 lassen sich zwei unterschiedliche Gruppen erkennen:

- Einige der Nüchternblute verändern sich im Laufe der drei Wochen kaum; sie bleiben annähernd konstant.
- Die übrigen Blute lassen die Tendenz eines Anstiegs des Alkoholspiegels erkennen. Dabei fällt weiter auf, daß die Streuung während der Untersuchung abnimmt. Die Konzentrationen streben Werte zwischen 1,0 und 3,0 ‰ an.

Der Verlauf der Konzentrationsänderungen während des Versuchs berechnete sich, wie in Kapitel 3.1. beschrieben, durch Subtraktion der Meßwerte des ersten Untersuchungstages von den Werten der übrigen Tage.

Abbildung 8 zeigt die gemittelten Konzentrationsänderungen in Abhängigkeit von der Zeit. Es ergab sich eine Tangenskurve, die sich asymptotisch einem Wert von ca. 1,2 bis 1,3 g/l zu nähern scheint.

Tabelle 5

	Mittlerer Anstieg der Äthanolkonzentration (g/l)	Anzahl der Analysen	Streuung (g/l)
am 2.Tag	0,46	25	0,58
am 7.Tag	0,81	25	0,91
am 14.Tag	0,87	25	1,10
am 21.Tag	1,01	25	1,17

Es fiel auf, daß Blute mit einem Alkoholgehalt von 0,15 bis 3,0 ‰, von zwei Ausnahmen abgesehen, während des Versuchs stets steigende Äthanolspiegel aufwiesen. Bei den 12 untersuchten Nüchternbluten kam es sechsmal zu einem Anstieg der Konzentrationen (bis zu 3,38 ‰), sechsmal blieben die Werte annähernd konstant ($\pm$ 0,01 ‰).

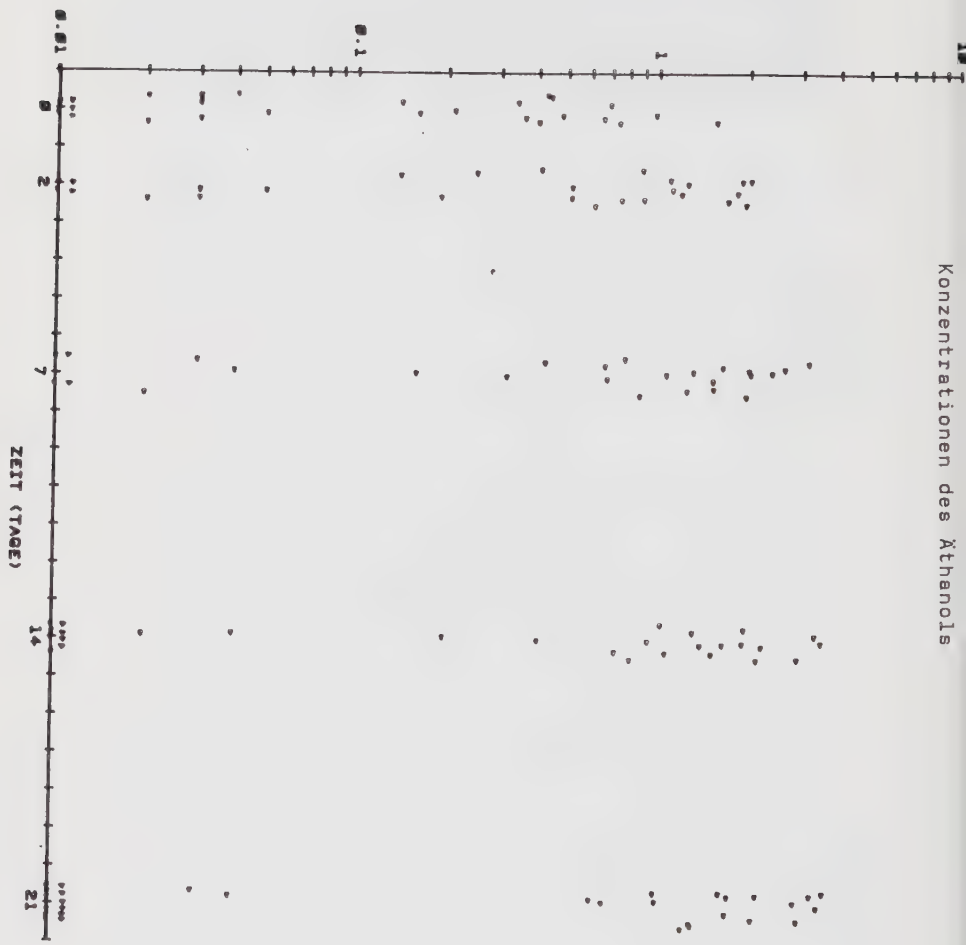
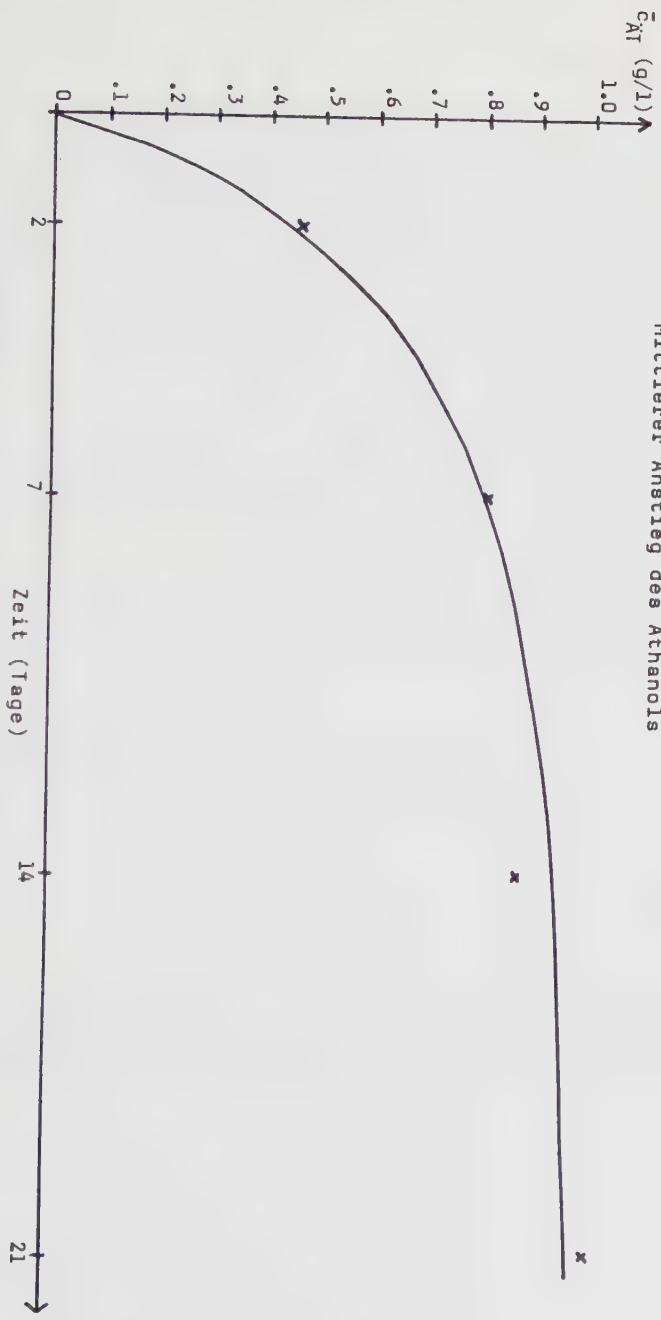


Abb. 8

Mittlerer Anstieg des Äthanois



3.4. Aceton

Diese Substanz wurde in sämtlichen analysierten Proben vorgefunden. Sie kam also sowohl in Nüchtern- als auch in Alkoholisiertenbluten vor. Der kleinste gemessene Wert betrug 0,12 mg/l, die höchste Konzentration lag bei 27,0 mg/l. Am ersten Tag wurden Acetonspiegel zwischen 0,34 mg/l und 12,0 mg/l beobachtet.

In 16 von 32 untersuchten Fällen stieg die Konzentration dieser Substanz im Laufe der dreiwöchigen Untersuchung an, zweimal blieb sie konstant, und 16 mal fiel sie ab. Der höchste Anstieg betrug 15,0 mg/l, der stärkste Abfall betrug 3,4 mg/l.

Abbildung 9 zeigt sämtliche Meßergebnisse zu den jeweiligen Zeiten. Aus dieser graphischen Darstellung läßt sich keine klare Tendenz einer Zu- oder Abnahme der Acetonkonzentration erkennen. Man stellt lediglich fest, daß die Streuung im Laufe der drei Wochen zunimmt.

Auch aus Abbildung 10, die den Verlauf der gemittelten Konzentrationsänderungen angibt, lassen sich keine eindeutigen Schlüsse ziehen.

Tabelle 6

	mittlerer Verlauf der Acetonkonzentration (mg/l)	Anzahl der Analysen	Streuung (mg/l)
am 2.Tag	- 0,04	32	1,02
am 7.Tag	- 0,19	32	1,84
am 14.Tag	+ 0,26	32	3,17
am 21.Tag	+ 1,08	32	4,06

Es wurde darauf verzichtet, sich auf eine bestimmte Verlaufskurve der mittleren Konzentrationsänderung festzulegen, da die Streuung so groß ist, daß mehrere Kurvenverläufe denkbar wären.

Abb. 9

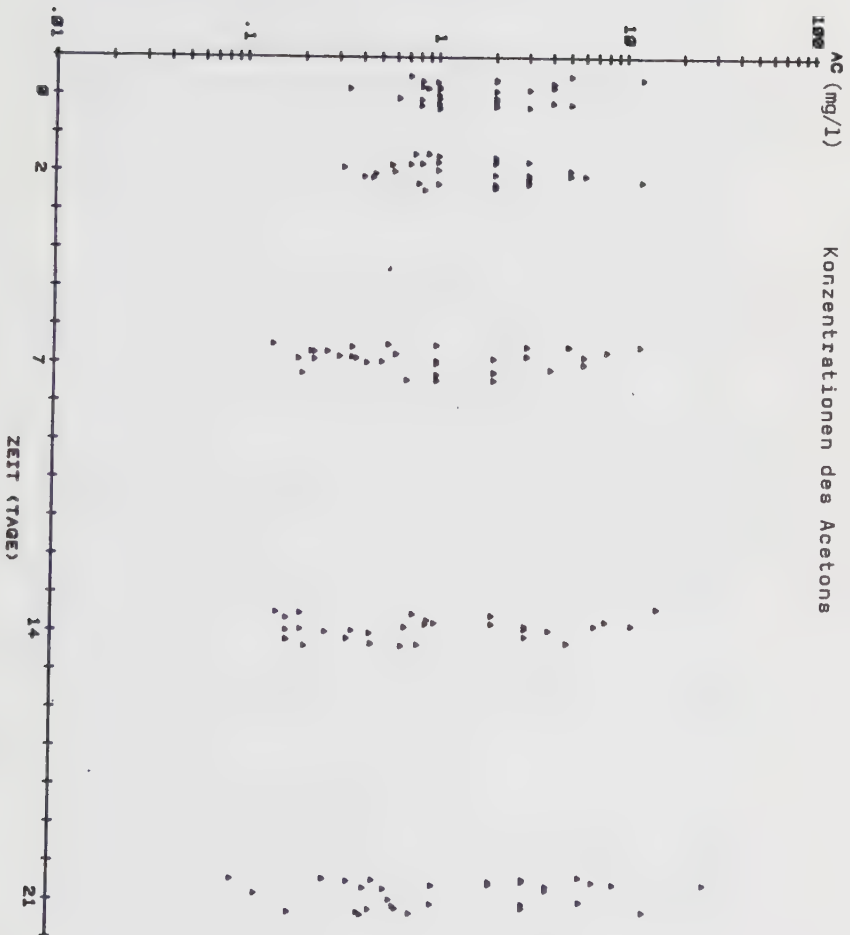
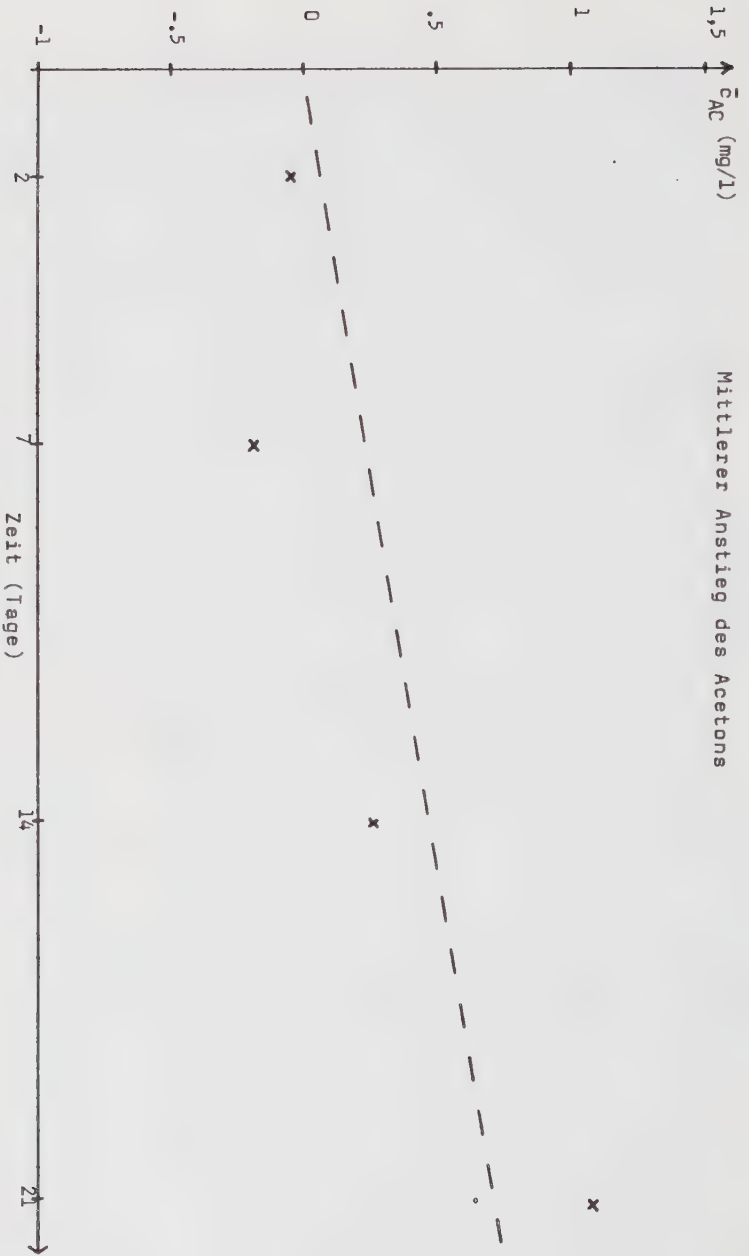


Abb. 10

Mittlerer Anstieg des Acetons



3.5. Isopropanol

Dieser Alkohol trat im Laufe der Versuchsreihe bei insgesamt 28 der 32 untersuchten Blutproben auf. Vier nüchterne Lebendblute enthielten ihn in keiner einzigen Analyse. Bei zwei der restlichen 28 Proben wurden erst ab dem 2. bzw 7. Untersuchungstag Isopropanol-Peaks registriert. Dies läßt auf eine Neubildung dieser Substanz schließen. 26 Proben enthielten bei allen durchgeführten Analysen Isopropanol. Die Konzentrationen am ersten Untersuchungstag lagen zwischen 0,17 mg/l und 3,0 mg/l.

Mit Ausnahme der vier oben erwähnten Lebendblute mit einem Äthylalkoholgehalt von 0,01 bis 0,05 % stieg die Konzentration des Isopropanols im Laufe der dreiwöchigen Untersuchung in allen Proben an. Der geringste gemessene Anstieg betrug 0,17 mg/l, der höchste lag bei 36,63 mg/l.

In Abbildung 11 ist dieses Ergebnis graphisch dargestellt. Sie zeigt sämtliche an den jeweiligen Untersuchungstagen gemessenen Isopropanolspiegel auf. Den vier Proben, in denen diese Substanz nicht vorkam, wurde der besseren graphischen Veranschaulichung wegen ein Wert von 0,002 mg/l zugeordnet. Auf diese Weise wurden sie nicht direkt auf die Zeitachse projiziert.

Aus diesem Bild läßt sich zweierlei erkennen:

- Die Isopropanolkonzentration hat die Tendenz, im Laufe der Zeit zuzunehmen.
- Die Streuung der Werte ist groß, sie verändert sich jedoch im Rahmen der Untersuchung kaum.

Abbildung 12 stellt den Verlauf der gemittelten Konzentrationsänderungen an den jeweiligen Untersuchungstagen dar. Die Werte der ersten Untersuchung wurden gleich Null gesetzt. Es ergab sich ein exponentieller Kurvenanstieg.

Tabelle 7

	Mittlerer Anstieg der Isopropanolkonzentration (mg/l)	Anzahl der Proben	Streuung (mg/l)
am 2.Tag	0,38	32	0,94
am 7.Tag	1,86	32	2,10
am 14.Tag	4,25	32	5,08
am 21.Tag	8,51	32	10,35

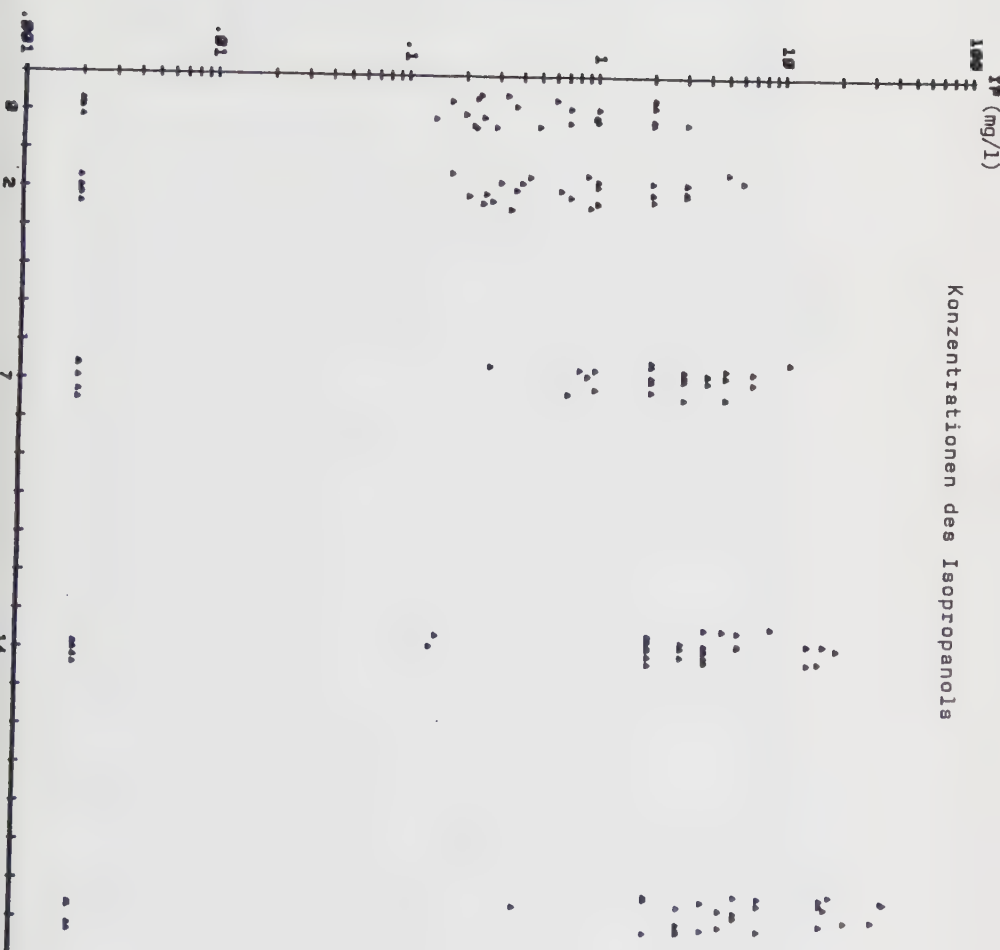
Betrachtet man die Messergebnisse unter Berücksichtigung des Äthanolgehalts der Blutproben, so fällt auf, daß in den drei Gruppen, in welche die Proben nach ihrem Promillegehalt eingeteilt wurden, die Mittelwerte der ersten Untersuchung kaum differierten. Nach drei Wochen unterschieden sich die gemittelten Konzentrationsanstiege jedoch deutlich (siehe Tabelle 8). In Proben, die viel Äthanol enthielten, stieg auch der Spiegel des Isopropanols schneller und höher an als in Nüchternbluten.

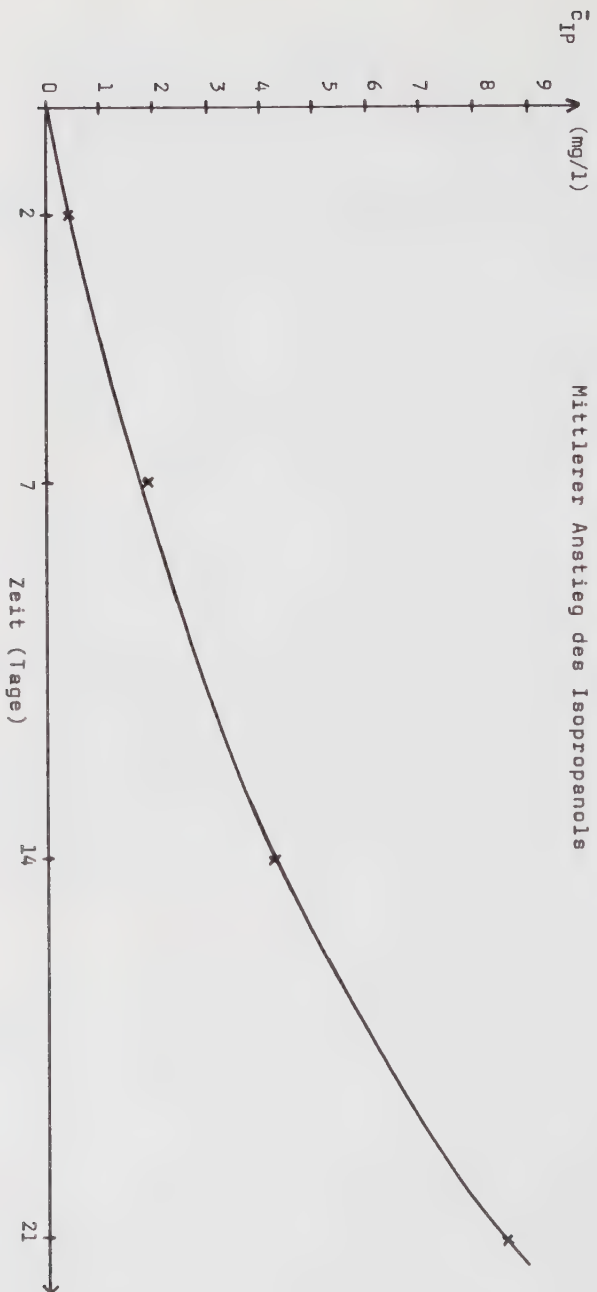
Tabelle 8

Äthanolgehalt	Mittelwert der Isopropanolkonzentration bei 1. Untersuchung (mg/l)	Mittlerer Anstieg der Isopropanolkonzentration nach 21 Tagen (mg/l)	Anzahl der Proben
< 0,15 ‰	0,87	6,38	8
0,15 - 1,0 ‰	0,72	8,23	12
> 1,0 ‰	1,07	15,30	8

Isopropanol wurde also sowohl in Bluten von Nüchternen als auch in solchen von Alkoholisierten vom ersten Untersuchungstag an nachgewiesen. In vier nüchternen Lebendblutproben trat es niemals auf. Bei den übrigen Proben nahm die Konzentration im Laufe der drei Wochen ausnahmslos zu, und zwar bei Alkoholisiertenbluten rascher und stärker als bei Nüchternbluten, obwohl die Werte am ersten Untersuchungstag annähernd gleich waren.

Konzentrationen des Isopropanols





3.6. Essigsäuremethylester

Diese Substanz trat während der dreiwöchigen Untersuchung weder bei Nüchternbluten noch bei Alkoholisiertenbluten auch nur ein einziges Mal auf.

3.7. n-Propanol

Im Laufe der Untersuchungsreihe kam diese Substanz in 26 der 32 untersuchten Blutproben vor. Sie wurde sowohl in Nüchternbluten als auch in Alkoholisiertenbluten gemessen. Auffällig ist, daß n-Propanol nur in Leichenbluten vorkam. Die sechs untersuchten Lebendblute enthielten diesen Alkohol nicht und bildeten ihn auch nicht neu. Bei den 26 Leichenbluten wurde, von sieben Ausnahmen abgesehen, zu sämtlichen Untersuchungszeiten ein n-Propanol-Peak registriert. Bei sechs Proben wurde erst ab der zweiten Untersuchung, 48 Stunden nach Start des Versuchs, n-Propanol in meßbarer Konzentration vorgefunden; bei einer Blutprobe sogar erst nach sieben Tagen. Der höchste Wert, der unmittelbar nach Asservierung der Blutproben gemessen worden war, betrug 11,0 mg/l, der niedrigste 0,03 mg/l.

Nach dreiwöchiger Aufbewahrung bei Raumtemperatur war der n-Propanolspiegel in 24 Fällen angestiegen und in zwei Fällen gesunken. Die Anstiege lagen zwischen 0,19 mg/l und 215,7 mg/l. Der stärkste Abfall nach 21 Tagen betrug 9,9 mg/l.

Die 24 Blutproben, deren n-Propanolwerte anstiegen, zeigten von Untersuchung zu Untersuchung kontinuierlich höhere Konzentrationen. Die beiden Proben hingegen, in denen dieser Alkohol bei der letzten Untersuchung weniger war als bei der ersten, hatten während der drei Wochen mal aufsteigende, mal abfallende Tendenz, so daß sie sich nicht eindeutig beschreiben lassen.

Abbildung 13 zeigt sämtliche an den jeweiligen Untersuchungstagen gemessene n-Propanolkonzentrationen. Den sechs Lebendproben, die diese Substanz nicht enthielten und auch nicht neu bildeten, wurden der Übersichtlichkeit wegen Werte von 0,02 mg/l zugeordnet, um sie nicht direkt auf die Zeitachse zu zeichnen. Man erkennt, daß die Streuung der Konzentrationen im Laufe der

Zeit abnimmt, und daß die n-Propanolspiegel ansteigen.

In Abbildung 14 wurden die gemittelten Konzentrationsänderungen gegen die Zeit aufgetragen. Es läßt sich anhand der Mittelwerte nur schwer entscheiden, ob hier ein linearer Anstieg oder ein Anstieg in Form einer Tangenskurve vorliegt.

Tabelle 8

	Mittlerer Anstieg der n-Propanolkonzentra- tion (mg/l)	Anzahl der Proben	Streuung (mg/l)
am 2.Tag	12,12	26	32,79
am 7.Tag	25,65	26	39,09
am 14.Tag	27,86	26	34,39
am 21.Tag	36,75	26	45,80

Bei Einteilung der Blutproben nach ihrem Äthanolgehalt ergibt sich folgendes Bild:

Alkoholisiertenblute enthalten bereits bei der ersten Untersuchung wesentlich mehr n-Propanol als Nüchternblute (3,35 mg/l im Gegensatz zu 0,01 mg/l). In Bluten mit einem Promillegehalt von weniger als 0,15 ‰ wurde dieser Alkohol meistens erst nach zwei Tagen Lagerung bei Raumtemperatur nachgewiesen, während er in Alkoholisiertenbluten fast immer bereits bei der ersten Untersuchung vorhanden war. Darüberhinaus steigt die n-Propanolkonzentration in Blutproben mit höherem Promillegehalt viel schneller und höher an als in Bluten von Nichtalkoholisierten. (siehe Tabelle 9)

Tabelle 9

Äthanolgehalt	Mittelwert der n-Propanolkon- zentration bei 1.Untersuchung (mg/l)	Mittlerer Anstieg der n-Propanolkon- zentration nach 21 Tagen (mg/l)	Anzahl der Proben
<0,15 ‰	0,01	18,16	7
0,15-1,0 ‰	1,21	46,57	9
>1,0 ‰	3,35	53,03	8

N-Propanol kam also sowohl bei Nüchternbluten als auch bei Alkoholisiertenbluten vor. Es trat jedoch nur bei Leichenbluten auf; in Lebendbluten konnte diese Substanz nicht nachgewiesen werden.

In Blutproben von Alkoholisierten wurde mehr n-Propanol und eine raschere Zunahme der Konzentration gefunden als in Nüchternbluten.

Konzentrationen des n-Propanols

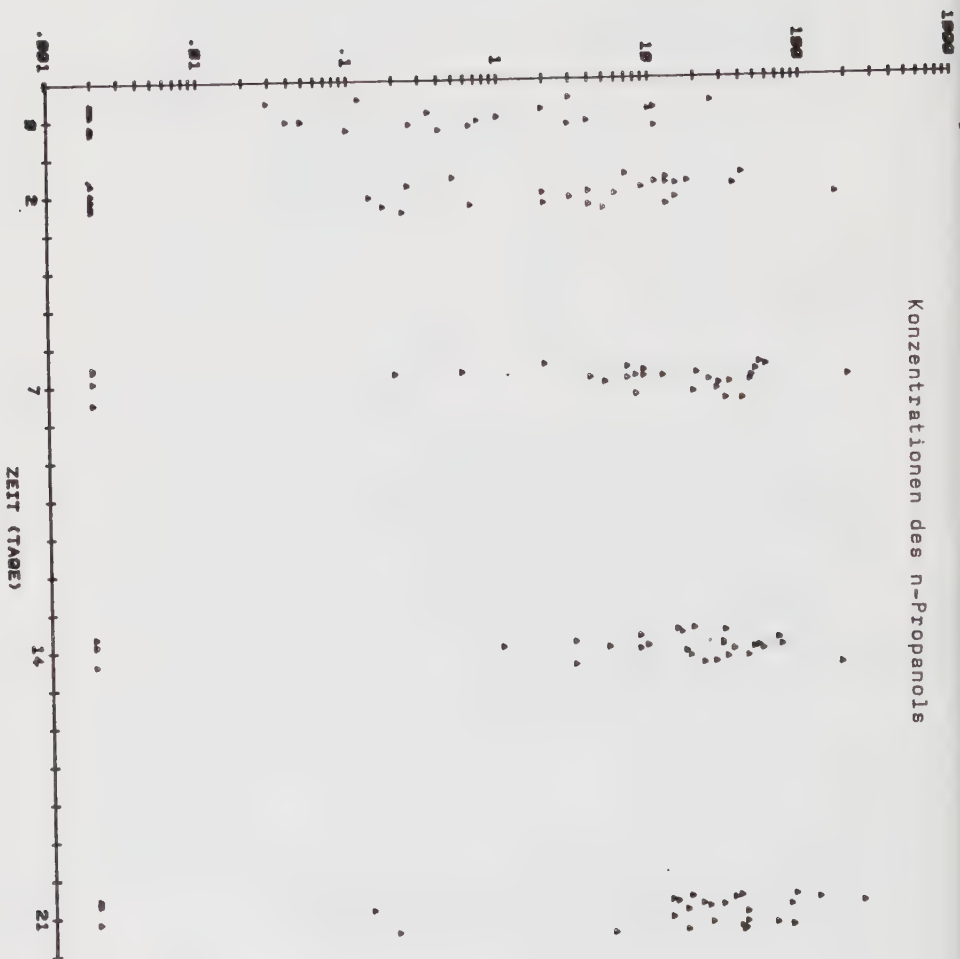
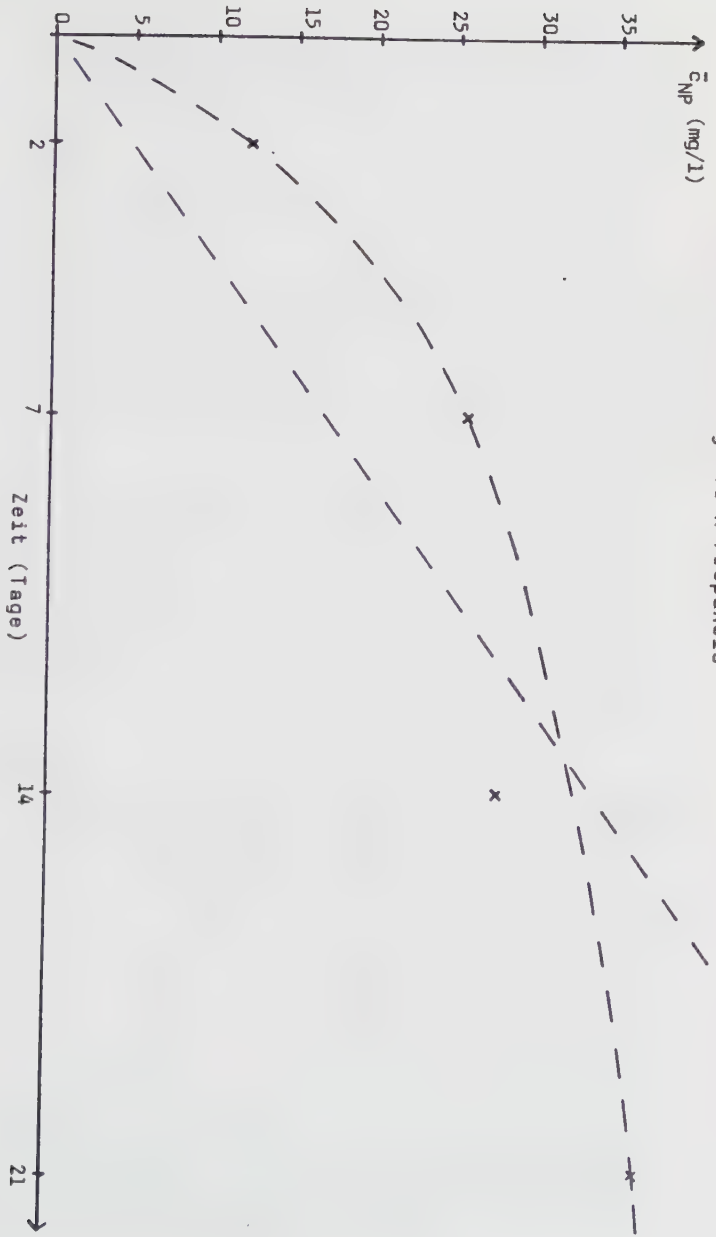


Abb. 14

Mittlerer Anstieg des n-Propanols



3.8. Methyl-Äthyl-Keton

Diese Substanz wurde im Laufe des Experiments in 17 von 32 untersuchten Blutproben vorgefunden. Sie kam sowohl im Blut von Nüchternen als auch im Blut von Alkoholisierten vor. In Lebendbluten trat sie niemals auf; sie wurde also ausschließlich in Leichenbluten gemessen.

Während der ersten gaschromatographischen Untersuchung unmittelbar nach Asservierung des Blutes wurde nur bei sechs der analysierten Proben ein Peak für Methyl-Äthyl-Keton registriert. Die Konzentrationen, die hierbei aufgezeichnet wurden, lagen zwischen 3,0 und 9,0 mg/l. Nach 21 Tagen wurde der höchste Wert mit 360 mg/l gemessen, der niedrigste Wert betrug 4,0 mg/l. Der stärkste Anstieg der Konzentration nach drei Wochen lag bei 360 mg/l.

In 13 Blutproben zeigte sich die Tendenz einer Zunahme der Substanz, in drei Fällen blieben die Werte annähernd konstant, und einmal kam es zum Abfall der Konzentration. Wie bereits erwähnt wurde, enthielten bei der ersten Untersuchung nur recht wenige Proben Methyl-Äthyl-Keton. In 11 Bluten wurde dieser Stoff im Laufe des Versuchs neugebildet. Meistens wurden Peaks ab der zweiten oder dritten Analyse (nach zwei bzw. sieben Tagen) festgestellt.

Dies läßt sich aus Abbildung 15 erkennen. Hier wurden die Meßwerte, die sich an den jeweiligen Untersuchungstagen ergaben, gegen die Zeit aufgetragen. Den Proben, die kein Methyl-Äthyl-Keton enthielten, wurde anstatt Null ein Wert von 0,0002 g/l zugeordnet, um sie nicht direkt auf die x-Achse zu projizieren.

Es zeigt sich Folgendes:

- In einigen Blutproben wurde diese Substanz während des Versuchs neugebildet, in anderen nicht.
- Die Konzentrationen nehmen im Laufe der Zeit geringfügig zu.
- Die Streuung der Werte ist sehr groß und verändert sich im Rahmen des Experiments kaum.

Abbildung 16 stellt den Verlauf der Mittelwerte der Konzentrationsänderungen an den jeweiligen Untersuchungstagen dar. Die Werte der ersten Untersuchung wurden gleich Null gesetzt und

die Differenzen gegen die Zeit aufgetragen. Es ergibt sich ein annähernd linearer Konzentrationsanstieg.

Tabelle 10

	Mittlerer Anstieg der Methyl-Äthyl-Ketonkonzentration (mg/l)	Anzahl der Proben	Streuung (mg/l)
am 2.Tag	7,29	31	23,04
am 7.Tag	10,06	29	24,91
am 14.Tag	6,18	28	17,90
am 21.Tag	21,89	28	70,50

Bei Berücksichtigung des Äthanolgehalts der Blutproben fällt auf, daß in Nüchternbluten bei der ersten Untersuchung nie Methyl-Äthyl-Keton auftrat. Es wurde frühestens während der zweiten Analyse, nach 48 Stunden, gemessen, meistens jedoch erst nach 7 Tagen. Bei Proben von Alkoholisierten fand man diese Substanz in fünf Fällen bereits unmittelbar nach Asservierung des Blutes, sechs weitere Male wurde sie erst bei späteren Untersuchungen registriert. Die Anstiege der Konzentrationen waren in Nüchternbluten ähnlich denen in Alkoholisiertenbluten. Durch die geringe Anzahl von Proben bedingt, die Methyl-Äthyl-Keton enthielten oder neu bildeten, läßt sich keine eindeutige Aussage über eine unterschiedliche Zunahme in Blutproben von Nüchternen oder Alkoholisierten treffen. Dies verdeutlicht Tabelle 11.

Tabelle 11

Äthanolgehalt	Mittelwert der Methyl-Äthyl-Ketonkonzentration bei 1. Untersuchung (mg/l)	Mittlerer Anstieg der Methyl-Äthyl-Ketonkonzentration nach 21 Tagen (mg/l)	Anzahl der Proben
<0,15 %	0,0	39,0	4
0,15-1,0 %	2,4	70,0	7
>1,0 %	2,3	10,0	4

Methyl-Äthyl-Keton trat also in Blutproben mit einem Promillegehalt von weniger als 0,15 % bei der ersten Untersuchung nie auf, wurde aber im Laufe der Zeit manchmal neugebildet. Blute mit einem Äthanolspiegel von mehr als 0,15 % verhielten

sich genauso, lediglich fand man bei einigen von ihnen bereits unmittelbar nach Asservierung der Proben Peaks für diese Substanz.

Wenn dieses Keton in einer Probe gemessen wurde, so nahm sein Spiegel, von drei Ausnahmen abgesehen, von Untersuchung zu Untersuchung zu. In zwei Fällen blieb es konstant, einmal verringerte es sich sogar ein wenig, was jedoch durch Meßfehler bedingt gewesen sein könnte.

Abb. 15

Konzentrationen des Methyl-Äthyl-Ketons

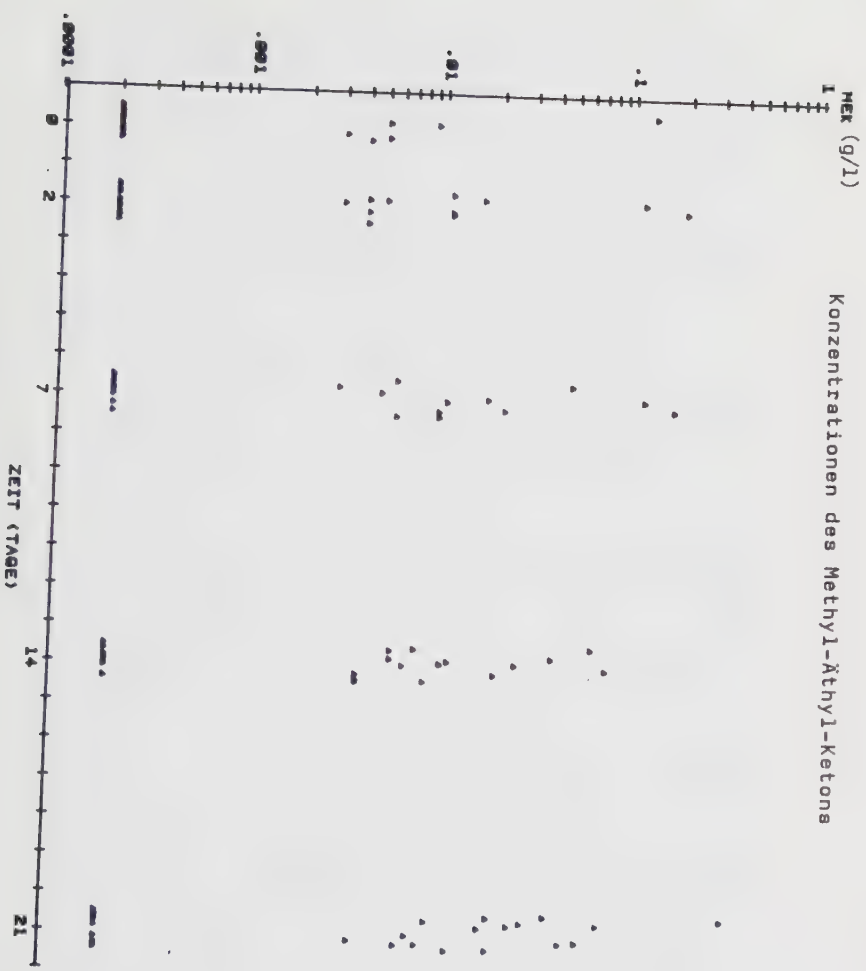
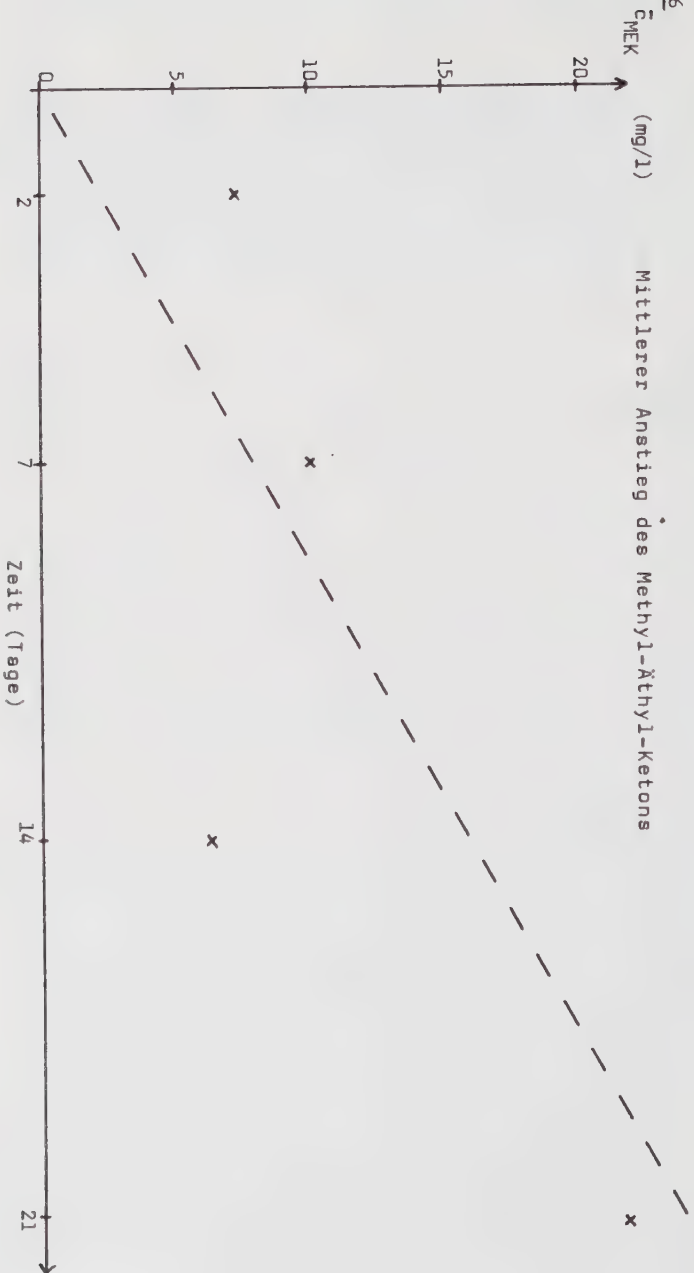


Abb. 16



3.9. Butanol₂

Im Laufe des Experiments wurde dieser Alkohol in 23 der 32 untersuchten Blutproben gemessen. Er kam sowohl in Nüchternbluten als auch in Alkoholisiertenbluten vor. In Lebendbluten trat er niemals auf. Er wurde also ausschließlich in Leichenblutproben gefunden. Nur acht Proben enthielten Butanol₂ bereits zur Zeit der ersten Untersuchung unmittelbar nach der Sektion. Es traten hierbei Spiegel von 0,08 bis 0,19 mg/l auf.

In 15 Fällen fand eine Neubildung dieser Substanz während des dreiwöchigen Versuchs statt. Bei vier Proben hatte diese Neubildung bereits nach zwei Tagen begonnen, in acht Proben nach einer Woche und bei dreien erst nach 14 Tagen.

In sämtlichen Bluten, in denen Butanol₂ vorkam, stieg die Konzentration von einer Untersuchung zur anderen an. Der geringste gemessene Anstieg nach drei Wochen betrug 0,14 mg/l, der stärkste betrug 40,9 mg/l.

Sechs Analysen zeigten das selbe Phänomen wie bei Methanol in Kapitel 3.1. beschrieben. Es wurde nämlich bei einer Untersuchung, meistens bei der dritten oder vierten, kein Peak für Butanol₂ aufgezeichnet, obwohl bei den Messungen eine Woche vorher und eine Woche nachher relativ hohe Konzentrationen (bis zu 25 mg/l) vorhanden waren. Auch eine Wiederholung des Probendurchlaufs ergab kein anderes Ergebnis. Da es sehr unwahrscheinlich erscheint, daß der Spiegel so plötzlich unter die Nachweisgrenze des Gaschromatographen von 0,01 mg/l abgesunken ist, ist ein Meßfehler des Geräts anzunehmen.

Abbildung 17 stellt sämtliche im Verlauf des Versuchs aufgetretenen Butanol₂-Konzentrationen dar. Den Proben, die diese Substanz nicht enthielten, wurde anstatt Null ein Wert von 0,002 mg/l zugeordnet, um sie nicht direkt auf die Zeitachse zu zeichnen.

Man erkennt, daß

- einige Proben während des gesamten Experiments kein Butanol₂ enthalten und auch nicht neu bilden.
- von Untersuchung zu Untersuchung die Anzahl der Butanol₂ enthaltenden Proben zunimmt.

- die Konzentrationen ansteigende Tendenz aufweisen.
- die Streuung im Laufe des Versuchs zunimmt.

In Abbildung 18 ist der Verlauf der gemittelten Konzentrationsunterschiede zu den jeweiligen Untersuchungszeiten aufgezeichnet. Die Meßwerte, die sich bei der ersten Analyse ergaben, wurden von den übrigen Werten subtrahiert. Es ergab sich ein exponentieller Anstieg der Konzentration.

Tabelle 12

	Mittlerer Anstieg der Butanol ₂ -Konzentration (mg/l)	Anzahl der Proben	Streuung (mg/l)
am 2.Tag	0,11	27	0,36
am 7.Tag	1,26	29	4,79
am 14.Tag	1,94	32	4,86
am 21.Tag	4,84	31	10,86

Bei der Untersuchung unmittelbar nach Abnahme des Blutes waren die Butanol₂-Konzentrationen in Nüchternbluten und in Alkoholisiertenbluten im Rahmen der Meßgenauigkeit gleich. Nach drei Wochen war die Konzentration in der Gruppe "stark alkoholisiert" doppelt so stark angestiegen wie in den Gruppen "nüchtern" und "leicht alkoholisiert", die sich völlig gleich verhielten.

Tabelle 13

Äthanolgehalt	Mittelwert der Butanol ₂ -Konzentration bei 1. Untersuchung (mg/l)	Mittlerer Anstieg der Butanol ₂ -Konzentration nach 21 Tagen (mg/l)	Anzahl der Proben
< 0,15 ‰	0,02	4,82	6
0,15-1,0 ‰	0,06	4,92	11
> 1,0 ‰	0,02	11,50	8

Butanol₂ wurde nur in Leichenbluten gefunden. Sein Auftreten war unabhängig von der Äthanolkonzentration. Bei einigen Proben kam es bereits während der ersten Untersuchung vor, in den meisten Bluten wurde es im Laufe der drei Wochen neugebildet, wobei von Mal zu Mal höhere Konzentrationen gemessen wurden.

Abb. 17

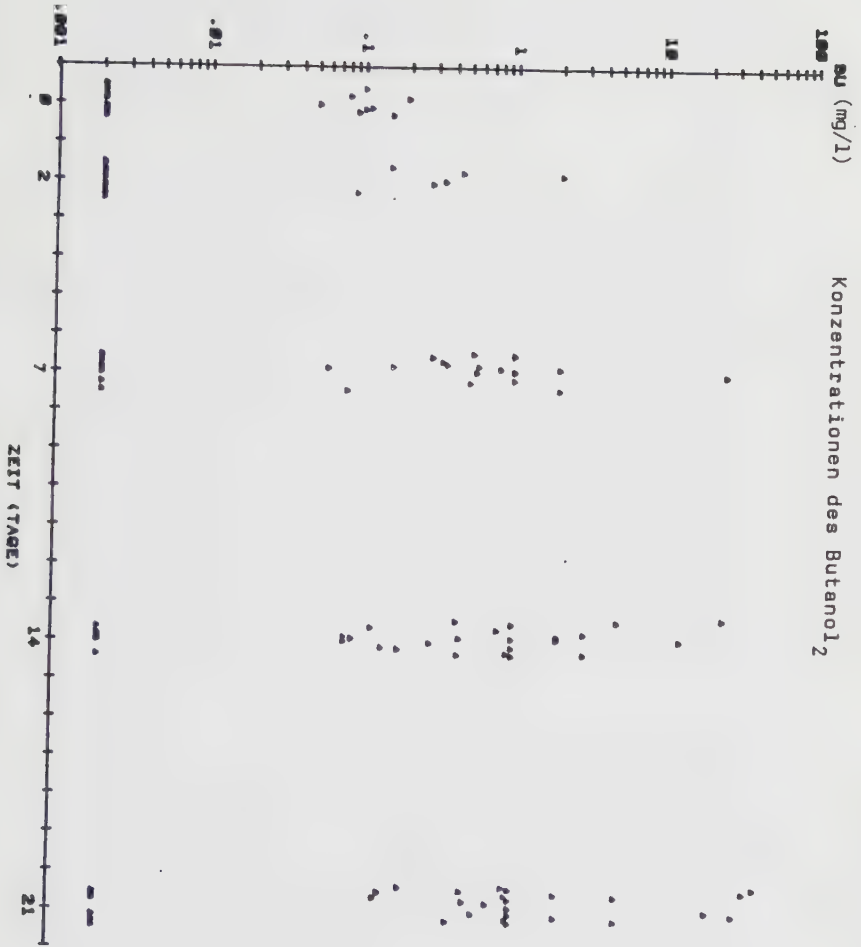
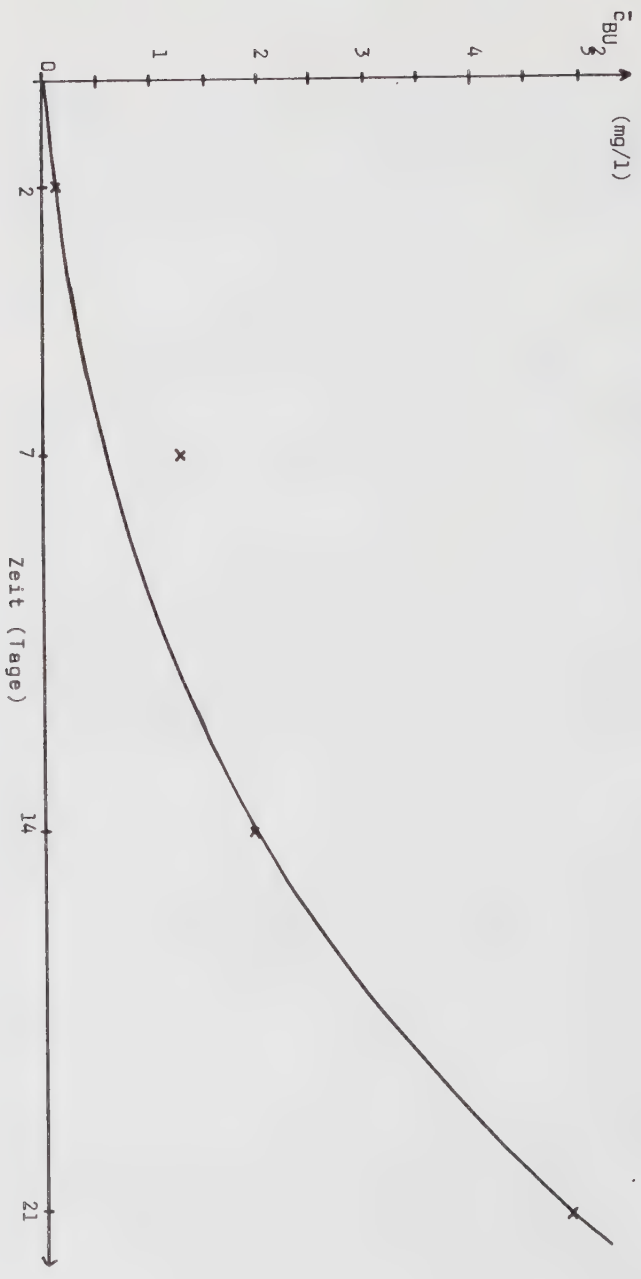


Abb. 18

Mittlerer Anstieg des Butanol₂



3.10. Isobutanol

Dieser Alkohol trat im Laufe des Versuchs weder bei Nüchternbluten noch bei Alkoholisiertenbluten auch nur ein einziges Mal auf.

3.11. Essigsäureäthylester

Diese Substanz trat während des Versuchs in 25 von 32 untersuchten Blutproben auf. Sie wurde im Blut von Nüchternen ebenso wie im Blut von Alkoholisierten gefunden. Niemals jedoch wurde sie in Lebendbluten analysiert ; sie kam also ausschließlich im Leichenblut vor.

Drei Proben enthielten Essigsäureäthylester bereits bei der ersten Untersuchung gleich nach Asservierung des Blutes. Die Konzentrationen lagen hierbei zwischen 0,10 und 4,0 mg/l.

In den übrigen Blutproben wurde der Ester im Laufe der Zeit neugebildet. Dies geschah in einigen Proben rascher, in anderen dauerte es länger. Im einzelnen ergaben sich folgende Ergebnisse: In sechs Fällen war Essigsäureäthylester ab der zweiten Analyse, nach 48 Stunden, nachweisbar; in acht Blutproben wurde er nach einer Woche gemessen, in fünf weiteren Fällen erst nach 14 Tagen und dreimal erst nach drei Wochen.

In 20 Proben stiegen die Konzentrationen kontinuierlich an, in fünf Blutproben wurden bei generell ansteigender Tendenz während einer Untersuchung niedrigere Werte gemessen als bei der vorausgegangenen. Bei der darauffolgenden Analyse lagen die Werte dann wieder höher. Dies läßt sich auf Ungenauigkeiten beim Vorbereiten der Proben zurückführen. Bei fünf Analysen trat das selbe Phänomen auf wie bei Methanol unter Kapitel 3.1. und Acetaldehyd unter Kapitel 3.2. beschrieben. Es wurde nämlich bei einer Untersuchung auch nach Wiederholung des Probendurchlaufs kein Peak für Essigsäureäthylester aufgezeichnet, obwohl diese Substanz bei der vorausgegangenen und der darauffolgenden Untersuchung gemessen worden war. Wahrscheinlich handelt es sich hierbei um einen Meßfehler des Gaschromatographen.

Der stärkste Anstieg nach 21 Tagen betrug 68,0 mg/l, der ge-

ringste Anstieg lag bei 0,12 mg/l.

Abbildung 19 zeigt sämtliche während des Experiments aufgetretenen Konzentrationen von Essigsäureäthylester auf. Um die Blutproben, die diesen Stoff nicht enthielten, nicht direkt auf die Zeitachse zu zeichnen, wurde ihnen anstatt Null ein Wert von 0,002 oder 0,003 mg/l zugeordnet. Das bedeutet, daß sämtliche Werte, die in der Abbildung unterhalb von 0,004 mg/l aufgetragen wurden, in Wirklichkeit Nullwerte sind.

Es läßt sich Folgendes erkennen:

- In den meisten Proben wird Essigsäureäthylester neugebildet.
- Die Konzentrationen weisen dabei leicht ansteigende Tendenz auf.
- Die einzelnen Werte streuen beträchtlich.

In Abbildung 20 ist der Verlauf der gemittelten Konzentrationsunterschiede dargestellt. Die Messungen der ersten Analyse wurden gleich Null gesetzt. Es ergab sich ein linearer Anstieg der Mittelwerte.

Tabelle 14

	Mittlerer Anstieg der Essigsäureäthylester- konzentration (mg/l)	Anzahl der Proben	Streuung (mg/l)
am 2.Tag	0,41	30	1,45
am 7.Tag	3,54	32	8,80
am 14.Tag	4,32	29	11,23
am 21.Tag	8,83	30	18,17

Bei Betrachtung der Ergebnisse mit Augenmerk auf den Ausgangsäthanolgehalt der Blutproben läßt sich feststellen, daß

- in allen drei Gruppen ($<0,15\%$; $0,15-1,0\%$; $>1,0\%$) die Werte, die sich bei der ersten Untersuchung ergaben, annähernd gleich sind. Von drei Proben abgesehen, waren sie nämlich immer Null. Der scheinbar höhere Mittelwert in der Gruppe mit mehr als $1,0\%$ Alkoholgehalt ist durch einen Ausreißerwert bedingt (siehe Tabelle 15).
- nach drei Wochen in Bluten mit einem Promillegehalt von mehr als $1,0\%$ wesentlich mehr Essigsäureäthylester neugebildet worden ist als in den übrigen beiden Gruppen.

Tabelle 15

Äthanolgehalt	Mittelwert der Essigsäureäthylesterkonzentration bei 1. Untersuchung (mg/l)	Mittlerer Anstieg der Essigsäureäthylesterkonzentration nach 21 Tagen (mg/l)	Anzahl der Proben
<0,15 ‰	0,0	7,71	6
0,15-1,0 ‰	0,04	3,69	11
>1,0 ‰	0,51	22,27	8

Essigsäureäthylester kam also sowohl in Nüchternbluten als auch in Alkoholisiertenbluten vor. In Lebendbluten konnte er nicht nachgewiesen werden. Er trat bei nur sehr wenigen Proben bereits bei der ersten Untersuchung auf, meistens wurde er im Laufe der drei Wochen neugebildet.

Abb. 19

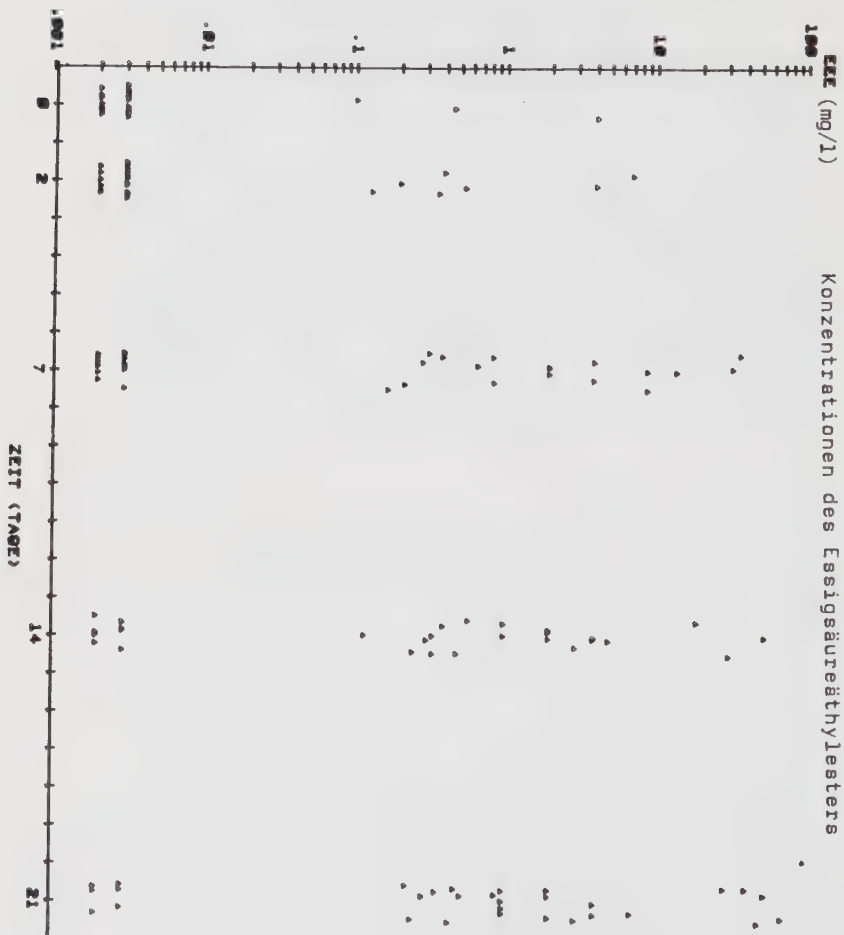
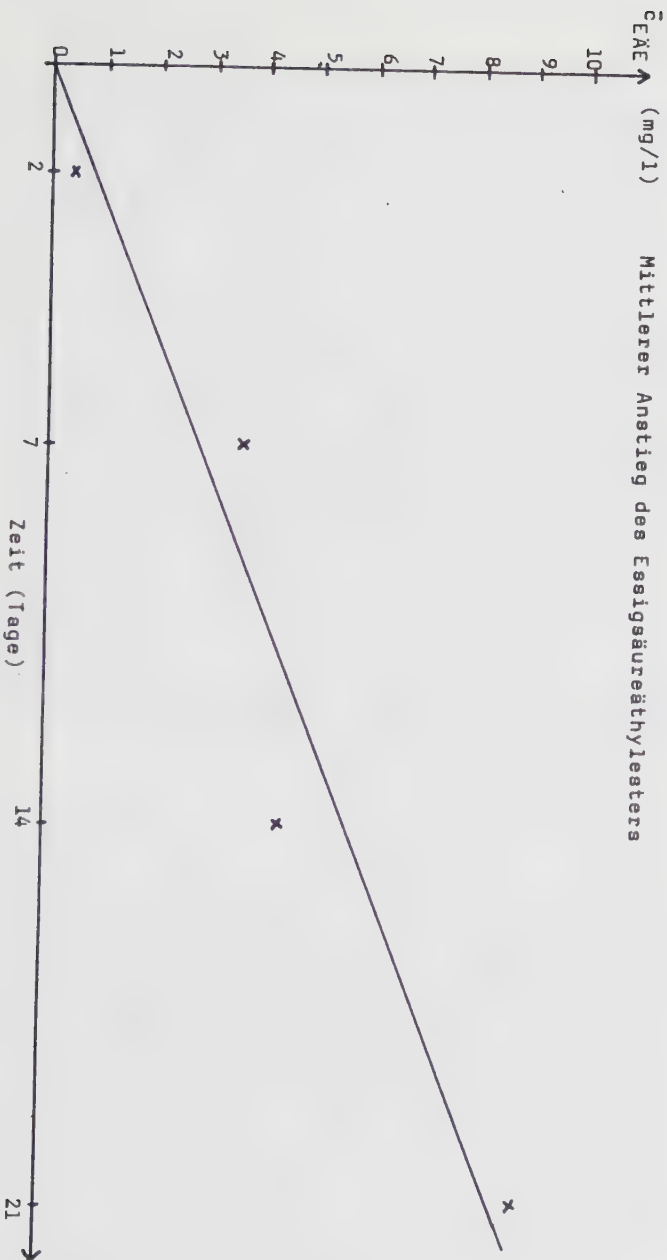


Abb. 20



3.12. n-Butanol

Dieser Fäulnisalkohol kam im Laufe des Versuchs bei acht von 32 untersuchten Blutproben kein einziges Mal vor. Auffällig dabei ist, daß er in Lebendbluten nie nachgewiesen werden konnte.

In vier Proben wurde nur bei einer Untersuchung ein Peak für n-Butanol registriert, so daß sich bei diesen Bluten keine Aussage über den Verlauf der Konzentration machen läßt. Es bleiben also noch 20 Proben für die Auswertung.

N-Butanol wurde sowohl im Nüchternblut als auch im Alkoholiertenblut gefunden. Zwei der analysierten Blutproben enthielten bereits bei der ersten Untersuchung Konzentrationen von 0,05 mg/l und 0,98 mg/l. Es ist heute bekannt, daß diese Substanz durch Blutfäulnis entsteht und sich vermehrt. Deshalb wird ihr Auftreten in der forensischen Medizin als Nachweis für Fäulnis im Blut herangezogen. Man weiß ferner, daß dieser Alkohol nur bis zu einer Konzentration von höchstens 0,1 mg/l auf andere Art und Weise (z.B. als Begleitstoff alkoholischer Getränke) als durch Fäulnis ins Blut gelangt sein kann. Größere Mengen sind sicher durch Fäulniserreger gebildet worden. Hieraus folgt, daß die Blutprobe mit dem n-Butanolgehalt von 0,98 mg/l trotz der Entnahme nur wenige Stunden nach dem Tod wahrscheinlich bereits angefault war.

In den übrigen 18 Fällen, bei denen Peaks für diese Substanz festgestellt wurden, wurde sie im Laufe der Untersuchung neugebildet, und zwar meistens während der ersten Woche. Hierbei stiegen die Konzentrationen von einer Analyse zur anderen kontinuierlich an. Die stärkste Neubildung nach drei Wochen lag bei 38,0 mg/l, die geringste bei 0,14 mg/l.

In Abbildung 21 sind sämtliche Meßwerte zu sehen. Denjenigen Proben, die kein n-Butanol enthielten, wurde anstatt Null ein Wert von 0,002 mg/l zugewiesen, um sie nicht direkt auf die x-Achse zu zeichnen. Man erkennt, daß in der Mehrzahl der Blutproben n-Butanol neugebildet wird, in einigen jedoch auch nicht. In den meisten Fällen setzt die Neubildung innerhalb der ersten Woche ein. Darüberhinaus läßt sich die Tendenz eines Anstiegs der Spiegel erkennen.

Abbildung 22 stellt den Verlauf der gemittelten Konzentra-

tionsunterschiede dar. Es zeigt sich ein linearer Anstieg im Laufe der drei Wochen.

Tabelle 15

	Mittlerer Anstieg der n-Butanolkonzentration (mg/l)	Anzahl der Proben	Streuung (mg/l)
am 2.Tag	1,80	32	7,38
am 7.Tag	4,26	32	9,27
am 14.Tag	6,0	29	8,86
am 21.Tag	10,0	29	10,10

Auf die Frage, ob sich n-Butanol in Abhängigkeit vom Alkoholgehalt der Proben verändert, kann man klar mit nein antworten. Es wurden sowohl in Bluten von Alkoholisierten als auch von Nüchternen, von der einen oben beschriebenen Ausnahme abgesehen, bei der ersten Untersuchung keine n-Butanolspiegel festgestellt. Auch nach drei Wochen waren die gemittelten Anstiege in Nüchternbluten und in Alkoholisiertenbluten im Rahmen der Meßgenauigkeit gleich. (siehe Tabelle 16)

Tabelle 16

Äthanolgehalt	Mittelwert der n-Butanolkonzentration bei 1. Untersuchung (mg/l)	Mittlerer Anstieg der n-Butanolkonzentration nach 21 Tagen (mg/l)	Anzahl der Proben
< 0,15 ‰	0,0	16,60	5
0,15-1,0 ‰	0,12	11,37	8
> 1,0 ‰	0,0	14,88	7

N-Butanol wurde also in Blutproben von Nüchternen und solchen von Alkoholisierten in gleicher Menge neugebildet. Diese Neubildung muß jedoch nicht unbedingt stattfinden. In einigen Proben, unter anderem in sämtlichen analysierten Lebendbluten, entstand während der drei Wochen kein n-Butanol.

Konzentrationen des n-Butanols

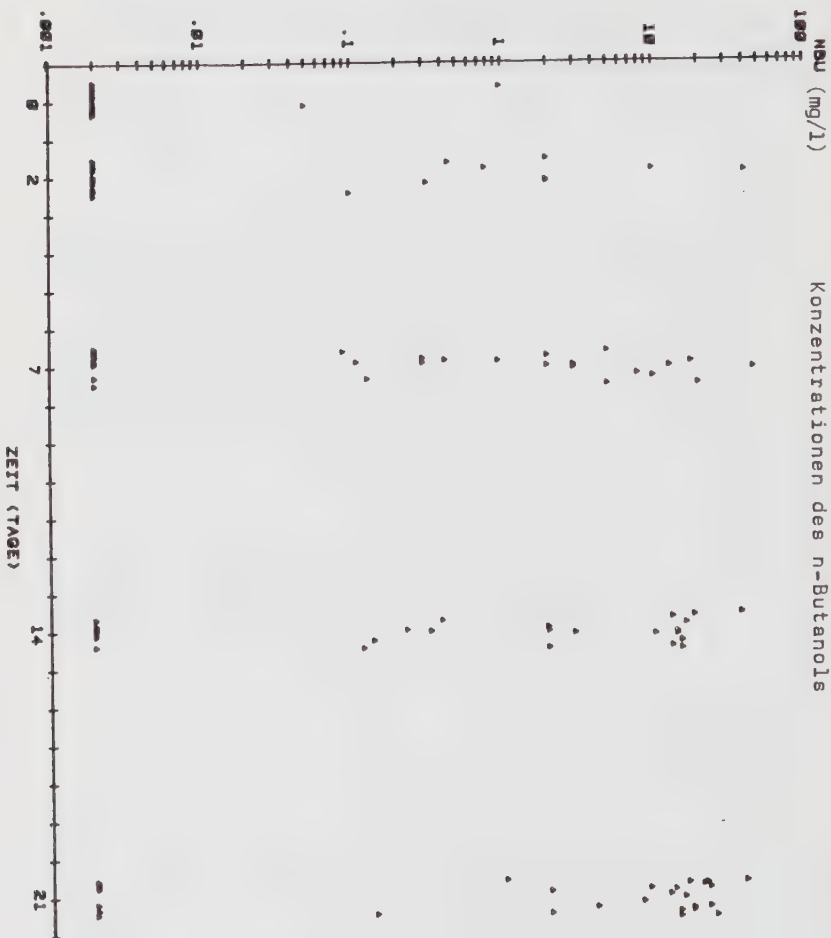
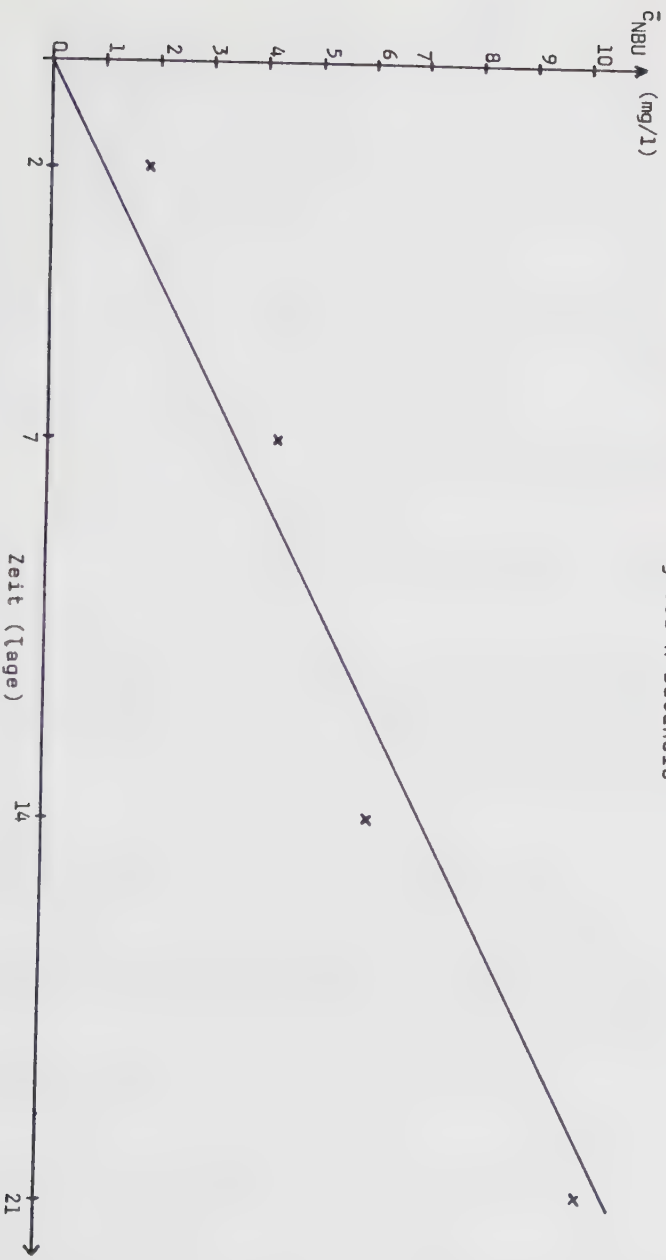


Abb. 22

Mittlerer Anstieg des n-Butanols



3.13. Pentanol₂

In 19 der 32 analysierten Blutproben wurde diese Substanz kein einziges Mal nachgewiesen. Bei den übrigen 13 Proben wurden meistens bei einer Untersuchung, selten auch bei zweien, Peaks für Pentanol₂ registriert. Ihr Auftreten ist jedoch zu unregelmäßig, um daraus irgendwelche Schlüsse ziehen zu können.

Es läßt sich lediglich feststellen, daß Pentanol₂ in Lebendbluten wie in Leichenbluten, in Nüchternbluten wie in Alkoholisiertenbluten neugebildet werden kann.

3.14. n-Pentanol

3.15. Isoamylalkohol

3.16. Tertiäramylalkohol

Diese drei Alkohole traten während der dreiwöchigen Untersuchung weder in Blutproben von Nüchternen noch in solchen von Alkoholisierten auf.

3.17. Tabellarische Übersicht der Versuchsergebnisse

Angeichts der Vielfalt der Ergebnisse erscheint es angebracht, diese noch einmal in einer Tabelle darzustellen. (siehe Tabelle 17)

3.17. Tabellarische Übersicht der Versuchsergebnisse

analysierte Substanz	Leichenbluten	Lebendbluten	Auftreten in: Nüchternbluten	Alkoholisiertesbluten	Neubildung	Neubildungszeitraum	max. Zunahme der Konzentration	Kurve des Konzentrationsanstiegs	Streuung
Methanol	ja	ja	ja	ja	ja, stets	7 Tage	32,0 mg/l	linear ansteig.	abnehmend
Acetaldehyd	ja	ja	ja	ja	ja, stets		3,50 g/l	Tangenskurve	zunehmend
Äthanol	ja	ja	ja	ja	ja, stets	48 Std.	2,86 g/l	Tangenskurve	abnehmend
Aceton	ja	ja	ja	ja	ja, stets	48 Std.	15,0 mg/l	leicht ansteig.	zunehmend
Isopropanol	ja	ja	ja	ja	möglich	48 Std.	36,63 mg/l	exponentiell	gleichbleibend
Essigsäuremethylester	nein	nein	nein	nein	nein				
n-Propanol	ja	nein	ja	ja	möglich	48 Std.	215 mg/l	linear ansteig.	abnehmend
Methyl-Äthyl-Keton	ja	nein	ja	ja	möglich	48 Std.	360 mg/l	linear ansteig.	gleichbleibend
Butanol ₂	ja	nein	ja	ja	möglich	48 Std.	40,9 mg/l	exponentiell	zunehmend
Isobutanol	nein	nein	nein	nein	nein				
Essigsäure-äthylester	ja	nein	ja	ja	möglich	48 Std.	68,0 mg/l	linear ansteig.	zunehmend
n-Butanol	ja	nein	ja	ja	möglich	48 Std.	38,0 mg/l	linear ansteig.	zunehmend
Pentanol ₂	ja	nein	ja	ja	möglich				
n-Pentanol	nein	nein	nein	nein	nein				
Isoamylalkohol	nein	nein	nein	nein	nein				
Tertiäramylalkohol	nein	nein	nein	nein	nein				

4. Diskussion

Im folgenden wird versucht, die Aussagekraft der Versuchsergebnisse für die forensische Medizin darzulegen. Die Arbeiten von Bonte und Mitarbeitern (3),(4),(5) über die Begleitsubstanzen annähernd sämtlicher in Deutschland verfügbarer Alkoholika wurden hierbei zugrunde gelegt.

4.1. Methanol

Im Jahre 1961 wiesen Weinig, Schwerd und Lautenbach (29) die Neubildung von Methanol und anderen Alkoholen in faulendem Leichenblut nach. Sie bedienten sich dabei zuerst der m-Nitrobenzaldehydreaktion, die allerdings unspezifisch für Methanol war, da sie auch andere höhere Alkohole erfaßte. Außerdem ließ dieses Verfahren keine Aussage über Qualität und Quantität der neugebildeten Alkohole zu. Erst durch Verwendung der Gaschromatographie gelang es Weinig, Schwerd und Lautenbach, die einzelnen Substanzen genauer zu identifizieren. In ihrer Arbeit gaben sie jedoch keine Mengenangabe der neugebildeten Alkohole an, sondern sie beschrieben lediglich die prozentuale Beteiligung der einzelnen Stoffe an der Gesamtneubildung. Somit läßt sich aus ihrer Veröffentlichung die Menge des im Leichenblut neugebildeten Methanols nicht entnehmen. Gaschromatographische Untersuchungen von Osterhaus (16) im Jahre 1973 stellten dieses Ergebnis in Frage, da auch nach längerer Lagerung von Leichenblutproben bei Raumtemperatur kein Methanol nachgewiesen worden war. Heute jedoch ist dank verfeinerter Trennsäulen bewiesen, daß Methanol in sehr geringen Konzentrationen stets im Blut zu finden ist. Dies läßt sich durch endogene Spaltung von höheren Estern erklären. Ferner kann dieser Alkohol auch als Begleitstoff alkoholischer Getränke ins Blut gelangen. Nach Bonte (5) ist Methanol in den meisten Alkoholika in geringen Konzentrationen vorhanden, in Obstbranntweinen sogar in sehr großen Mengen (3 - 4 g/l) enthalten. Nach Konsum derartiger Getränke lassen sich, wie Machata und Prokop (13) gezeigt haben, erhöhte Konzentrationen von Methanol im Blut analysieren. Darüber hinaus entsteht dieser Alkohol durch endogene Spaltung von Essigsäuremethylester, der wiederum in rumartigen Getränken in großen

Mengen enthalten ist. Somit kann auch nach dem Genuß von Rum der Methanolspiegel im Blut erhöht sein. Hierzu paßt die Tatsache, daß in Blutproben mit einem Äthylalkoholgehalt von mehr als 0,15 % höhere und rascher ansteigende Methanolkonzentrationen gemessen wurden als in Bluten von Nüchternen. Diese Überlegungen erklären zumindest teilweise die erheblichen Schwankungen der Methanolkonzentrationen in den einzelnen untersuchten Blutproben und die sich daraus ergebende große Streuung der Mittelwerte. Bemerkenswert ist der geradlinige Anstieg der Konzentrationsänderungen im Laufe des dreiwöchigen Versuchs (siehe Abb. 4, Kap. 3.1.). Auch bei Berücksichtigung der Streuung läßt sich anhand der Änderung des Methanolgehalts einer Blutprobe eine vorsichtige Aussage treffen bezüglich des vorangegangenen Konzentrationsverlaufs.

4.2. Acetaldehyd

In unserem Versuch fanden wir diese Substanz in sämtlichen Blutproben bereits ab der ersten Untersuchung. Im Jahre 1971 stellten Machata und Prokop (12) die Hypothese auf, daß Acetaldehyd im Blut locker an die Erythrozyten gebunden sei. Sie kamen zu dieser Annahme, da sie diesen Stoff nur im Vollblut nachweisen konnten, nicht dagegen im Serum. Diese Überlegungen haben heute noch Gültigkeit.

Mit Hilfe dieser Theorie läßt sich die Verlaufskurve des gemittelten Acetaldehydanstiegs (siehe Abb. 6, Kap. 3.2.) erklären: Der Anstieg in Form einer Tangenskurve kann dadurch bedingt sein, daß durch Fäulnis im Blut Hämolyse eintritt. Dabei wird der an die roten Blutkörperchen fixierte Acetaldehyd aus seiner Bindung gelöst. Wenn alle Erythrozyten zerstört sind, ist sämtlicher Acetaldehyd freigesetzt, und es gibt keine weitere Zunahme der Konzentration. Diese Hypothese beinhaltet die Annahme, daß Acetaldehyd durch Blutfäulnis nicht in relevanter Menge neugebildet wird, sondern daß diese Substanz bereits von Anfang an in annähernd konstanter Menge im Blut vorhanden ist, jedoch erst durch den Abbau von Erythrozyten meßbar wird.

Die Überlegungen lassen sich aber auch in eine andere Richtung führen: Es ist heute bekannt, daß Acetaldehyd ein Abbauprodukt des

Äthanol im Organismus darstellt. Machata und Prokop (12) wiesen nach, daß ein Teil des abgebauten Äthylalkohols als Acetaldehyd im Blut erscheint. Auf diese Weise läßt sich die Tatsache erklären, daß bei der ersten Untersuchung in Nüchternblutproben niedrigere Spiegel festgestellt wurden als in Blutproben von alkoholisierten Personen. Der raschere und höhere Konzentrationsanstieg des Acetaldehyds in Alkoholisiertenbluten legt im Gegensatz zur oben aufgestellten Theorie die Annahme einer echten Neubildung dieser Substanz nahe.

Ob die Zunahme des Acetaldehydspiegels nun durch die Lösung der Bindung an Erythrozyten bedingt ist oder durch Neubildung durch Fäulnisbakterien, kann an dieser Stelle nicht entschieden werden. Denkbar sind beide Überlegungen. Außerdem kann Acetaldehyd auch als Begleitsubstanz alkoholischer Getränke wie Wein, Obstbranntwein, Weinbrand und Bier ins Blut gelangen.

Es läßt sich jedoch sagen, daß die Acetaldehydkonzentration durch Fäulnis im Blut mit großer Wahrscheinlichkeit zunimmt. Die wenigen Proben, die eine geringfügige Abnahme des Spiegels zeigten, sind als Ausreißer zu werten. Unter Berücksichtigung der Streuung kann man anhand der Kurve des gemittelten Konzentrationsanstiegs (siehe Abb.6, Kap. 3.2.) eine vorsichtige Aussage bezüglich des vorangegangenen Konzentrationsverlaufs einer fauligen Blutprobe treffen.

4.3. Äthanol

Über die Veränderung der Äthylalkoholkonzentration in faulendem Blut wurden schon sehr viele Arbeiten mit teilweise stark differierenden Ergebnissen veröffentlicht. Im Jahre 1958 stellten Paulus und Janitzki (18) in frisch entnommenen Blutproben von nüchternen Probanden entweder keine oder eine minimale Äthanolneubildung von 0,17 % fest. Dies deckt sich mit unserem Ergebnis nur teilweise. Wir fanden nämlich in Nüchternbluten bei der Hälfte der untersuchten Proben gleichbleibende Werte zwischen 0,01 und 0,05 g/l, die durch endogene Zuckervergärung im Organismus gebildet worden sind. Bei der anderen Hälfte dagegen ergaben sich Anstiege bis zu 3,38 % im Laufe von drei Wochen. Auffällig ist jedoch, daß eine solche Zunahme der Konzentration nur in Leichenbluten nachgewiesen werden konnte.

Die untersuchten Nüchternblute von Lebenden dagegen verhielten sich wie Paulus und Janitzki es beschrieben hatten: In ihnen wurde kein Äthanol neu gebildet. In Blutproben von leicht oder stark alkoholisierten Personen beobachtete man eine stärkere Äthanolneubildung als bisher in der Literatur angegeben worden war. Osterhaus und Johannesmeier (17) fanden bei ihren Versuchen im Jahre 1966 eine Neubildung des Äthylalkohols von maximal 1,0 ‰ in faulenden Blutproben was durch Weiler und Reh (26) bestätigt wurde. Unsere Ergebnisse lagen im Vergleich dazu höher: Es ergaben sich innerhalb von drei Wochen Anstiege bis zu 3,8 g/l. Dieses Ergebnis wiederum entspricht dem von Mebs, Schmidt und Gerchow (15), die 1978 im Blut toter Versuchstiere innerhalb von vier Tagen bis zu 1,2 ‰ neugebildetes Äthanol feststellten. In einem länger angelegten Versuch hätten sie wahrscheinlich eine noch stärkere Zunahme des Alkoholspiegels festgestellt.

Wie Paulus und Janitzki (18) schrieben, tritt jedoch nicht in allen unsteril aufbewahrten Blutproben eine Neubildung von Äthylalkohol auf. In unserem Untersuchungsgut war bei einigen Proben ein Gleichbleiben der Konzentration, bei zweien sogar ein Abfall des Äthanolspiegels beobachtet worden. Auch ist es schwer zu beurteilen, ab dem wievielten Tag eine Veränderung auftritt, da dies stark vom Milieu in der Blutprobe abhängt. Hierbei spielen der Befall mit Bakterien oder Pilzen, der pH-Wert, der Kohlenhydratgehalt und die Temperatur der Probe eine wichtige Rolle. Der Anstieg der Äthanolkonzentration in Form einer Tangenskurve (siehe Abb.8, Kap.3.3.) läßt die Interpretation zu, daß der Umfang der Neubildung von Äthylalkohol durch Fäulnisbakterien stark vom Angebot an Kohlenhydraten im Blut abhängig ist. Es liegt der Schluß nahe, daß die Neubildung von Äthanol nach dem Verbrauch der Zuckerreserven stagniert.

Es läßt sich also sagen, daß bei unsteriler Lagerung von Blutproben bei Zimmertemperatur mit großer Wahrscheinlichkeit bereits nach kurzer Zeit eine Neubildung von Äthylalkohol eintritt, jedoch muß dies nicht unbedingt so sein. Die Promillewerte können auch über längere Zeit konstant bleiben oder sogar abnehmen.

4.4. Aceton

Dieses Keton ist in geringen Konzentrationen stets im Blut zu analysieren. Es fällt im körpereigenen Stoffwechsel durch mehrere Reaktionswege an. Zum ersten entsteht Aceton durch den endogenen Abbau von Äthanol, des weiteren stellt es sowohl Vorstufe als auch Abbauprodukt von Isopropanol im Organismus dar. Dadurch steht die Acetonkonzentration im Blut auch in Beziehung zur Menge des vorhandenen Isopropanols. Bei einigen Erkrankungen (z.B. bei Diabetes mellitus, bei Hyperemesis oder bei Hungerzuständen) kann der Acetonspiegel stark erhöht sein.

Der Nachweis der Neubildung von Aceton in faulendem Leichenblut wurde 1973 von Osterhaus (16) erbracht. Er wies gaschromatographisch nach, daß diese Substanz in Leichenblut postmortal neugebildet wurde. Dabei machte er jedoch keine Angaben über Umfang und Menge der Neubildung.

In unserem Versuch ließ sich keine eindeutige Verlaufstendenz der Acetonkonzentration angeben. In der einen Hälfte der analysierten Proben stieg sie an, in der anderen Hälfte fiel sie ab. Es ließ sich der jeweilige weitere Verlauf des Spiegels in einer Blutprobe nicht vorhersagen. Aus diesen Ergebnissen ist zu erkennen, daß der Acetongehalt einer Blutprobe von sehr geringer Bedeutung für die forensische Medizin ist, da die physiologische Schwankungsbreite zu stark variiert.

4.5. Isopropanol

Im Jahre 1966 wiesen Osterhaus und Johannesmeier (17) die postmortale Entstehung von Isopropanol durch Blutfäulnis in 36 % der von ihnen analysierten Proben nach. Bei unserer Untersuchung war dieser Alkohol in den meisten Blutproben bereits bei der ersten Analyse unmittelbar nach Asservierung des Blutes vorhanden, in zweien wurde er neugebildet, während er in vier Proben niemals vorkam. Die Diskrepanz zwischen den beiden Untersuchungsergebnissen läßt sich durch Verfeinerung der Meßgenauigkeit des Gaschromatographen im Laufe der Jahre erklären.

Isopropanol kann auf zwei verschiedenen Wegen ins Blut gelangen: einmal durch endogene Bildung, denn Isopropanol stellt das Reduktions-

produkt des Acetons dar, welches wiederum, wie unter Kapitel 4.4. beschrieben, auf mehreren Wegen anfallen kann, zum anderen als Begleitsubstanz konsumierter alkoholischer Getränke, die fast alle diesen Alkohol enthalten. Dies erklärt, warum wir in den Blutproben der vier nüchternen lebenden Probanden, die ja keinen Alkohol genossen hatten, kein Isopropanol nachweisen konnten.

Auffällig ist, daß sowohl Nüchternblutproben als auch Alkoholisiertenblutproben zu Beginn der Untersuchung annähernd gleiche Spiegel aufwiesen, daß jedoch nach drei Wochen in letzteren eine stärkere Zunahme der Konzentration zu beobachten war als in ersteren. Diese Erscheinung wurde bereits bei Acetaldehyd unter Kapitel 4.2. beschrieben. Da beide Substanzen Abbauprodukte des Äthanol sind, kommt die Vermutung auf, daß ein Zusammenhang zwischen Äthanolneubildung und Acetaldehyd- und Isopropanolspiegel im Blut bestehen könnte. Für genauere Aussagen wären jedoch noch weitere Untersuchungen notwendig.

Es läßt sich feststellen, daß die Isopropanolkonzentration im Blut durch Fäulnis ansteigt. Die Kurve, die sich aus diesen Anstiegen ergibt (siehe Abb.12, Kap. 3.5.), erlaubt unter Berücksichtigung der großen Streuung einen vorsichtigen Rückschluß auf den Verlauf des Isopropanolspiegels in einer Blutprobe, in der Veränderungen durch Fäulnis bemerkt worden sind.

4.6. Essigsäuremethylester

Da diese Substanz in unserem Untersuchungsgut bei keiner einzigen Analyse vorkam, läßt sich folgern, daß sie durch Fäulnis von Blut nicht neugebildet wird. Falls sie in einer fauligen Probe vorgefunden wird, so ist sie mit großer Wahrscheinlichkeit bereits zum Entnahmezeitpunkt des Blutes darin enthalten gewesen. Es wäre jedoch möglich, daß Essigsäuremethylester durch Blutfäulnis abgebaut würde. Dies können wir aber nicht beurteilen, da dieser Ester in keiner der analysierten Proben enthalten war.

Nach Bonte (3),(5) ist Essigsäuremethylester in Rum und rumartigen Getränken in relativ hohen Konzentrationen, in Weinen und einigen Schaumweinen in geringen Mengen nachweisbar. Wird diese Substanz in fauligen Blutproben analysiert, so läßt sich mit großer Wahrscheinlichkeit auf den vorausgegangenen Konsum von Rum oder rumartigen Alkoholika schließen. Für den Nachweis des Genusses von Wein ist

Essigsäuremethylester im Getränk in zu geringer Konzentration enthalten.

4.7. n-Propanol

Den Nachweis der Neubildung von n-Propanol erbrachten Osterhaus und Johannesmeier (17) im Jahre 1966. Sie stellten in 82 % der von ihnen untersuchten Blutproben die postmortale Neubildung dieser Substanz fest. Das Ergebnis stimmt annähernd mit dem unserer Analysen überein. Wir wiesen diesen Alkohol in sämtlichen untersuchten Leichenbluten nach, wobei er in der Mehrzahl der Fälle bereits bei der ersten Analyse vorhanden war. In den restlichen Proben wurde er im Laufe einer Woche neugebildet. Es gelang uns jedoch nicht, n-Propanol in den Blutproben von lebenden Probanden zu analysieren. Das hängt wahrscheinlich damit zusammen, daß wir nur sechs Proben von Lebenden untersucht haben, von denen keiner Äthylalkoholspiegel von mehr als 0,5% im Blut aufwies. Die geringen Alkoholmengen, die bei zwei der untersuchten Lebendblutproben gemessen worden waren, waren durch den Genuß von Bier, nicht jedoch von hochprozentigen alkoholischen Getränken zustande gekommen. Nach Bonte (3),(4),(5) jedoch ist n-Propanol in größeren Mengen besonders in hochprozentigen Alkoholika enthalten; in Bier und Wein kommt es nur in relativ niedrigen Konzentrationen vor. Darüberhinaus wird n-Propanol im endogenen Stoffwechsel nicht gebildet. Dies erklärt, warum wir in unseren Lebendblutproben kein n-Propanol finden konnten. Dadurch, daß dieser Alkohol in vielen Getränken enthalten ist, lassen sich die höheren und rascher ansteigenden Propanolspiegel erklären, die wir in Alkoholisiertenblutproben im Gegensatz zu den Nüchternbluten gefunden haben. In Proben mit erhöhtem Promillegehalt wurde dieser Alkohol bereits bei der ersten Untersuchung nachgewiesen, in Nüchternbluten dagegen war er erst nach 48 Stunden neugebildet worden.

Die Tatsache, daß dieser Alkohol in hochprozentigen Getränken, wie z.B. Weinbrand, Obstbranntwein und Whisky, in relativ hohen Konzentrationen, in Wein und Bier dagegen nur in geringen Mengen enthalten ist, dient heute der forensischen Medizin zum Nachweis oder Ausschluß des Genusses hochprozentiger Alkoholika.

Es läßt sich feststellen, daß der n-Propanolspiegel einer Blut-

probe durch Fäulnis mit sehr großer Wahrscheinlichkeit zunimmt. Die beiden Proben, in denen die Menge abnahm, können als Ausreißer angesehen werden. N-Propanol wird entweder als Begleitstoff alkoholischer Getränke ins Blut aufgenommen, oder es entsteht durch Fäulnis.

Die Kurve des gemittelten Konzentrationsanstiegs (siehe Abb. 14, Kap. 3.7.) läßt wegen der zu großen Streuung keine eindeutige Interpretation zu. Man könnte einen linearen Anstieg oder einen Anstieg in Form einer Tangenskurve annehmen.

Der einzig zulässige Schluß ist folgender: Werden in einer Blutprobe Anzeichen für Fäulnis festgestellt und liegt der n-Propanolspiegel dabei recht niedrig, so läßt sich mit großer Wahrscheinlichkeit der vorausgegangene Genuß hochprozentiger alkoholischer Getränke ausschließen.

4.8. Methyl-Äthyl-Keton

Diese Substanz, die im Blut unter physiologischen Bedingungen nicht anzufinden ist, ist lediglich in Wein und weinähnlichen Getränken in höheren Konzentrationen enthalten. Sie kann jedoch nach dem Genuß solcher Alkoholika in geringen Mengen im Blut nachgewiesen werden. Dies erklärt, warum wir Methyl-Äthyl-Keton in Blutproben von Nüchternen bei der ersten Analyse unmittelbar nach Asservierung des Blutes niemals messen konnten. Wir fanden dieses Keton nur in einigen Proben mit einem Promillegehalt von mehr als 0,5 ‰ bereits bei der ersten Untersuchung. Bei den darauffolgenden Untersuchungen wurde die Substanz in immer mehr Blutproben nachgewiesen, und zwar in Proben mit und ohne erhöhtem Äthylalkoholspiegel. Dies läßt eine echte Neubildung annehmen.

Diese Zunahme der Methyl-Äthyl-Ketonkonzentration durch Blutfäulnis ist auf zwei Weisen erklärbar: In Blutproben von Alkoholisierten könnte man den Anstieg durch Entstehung dieser Substanz auf einem Nebenreaktionsweg des Äthanolabbaus deuten. Es wäre denkbar, daß neben der Neubildung von Äthanol in faulendem Blut auch ein geringfügiger Abbau stattfindet. Hierbei könnte es sich aber nur um geringste Mengen neuentstandenen Methyl-Äthyl-Ketons handeln, denn, wie wir bereits beschrieben haben, überwiegt in faulendem Blut eindeutig die Zunahme der Äthanolkonzentration, und außerdem entstehen beim Abbau des Äthylalkohols nur geringste Mengen

von Methyl-Äthyl-Keton.

Mit dieser Theorie läßt sich jedoch das Auftreten dieser Substanz in faulendem Nüchternblut nicht erklären. Diese Erscheinung wird durch spontane Neubildung durch bakterielles Wachstum unabhängig vom Äthanol gedeutet, wobei diese Annahme als die wahrscheinlichere von beiden erscheint.

Man muß jedoch festhalten, daß die Neubildung in nur knapp der Hälfte der analysierten Proben stattfand, wobei keinerlei Gesetzmäßigkeiten für das Auftreten dieser Substanz bemerkt werden konnten. Die Tatsache, daß das Keton nur in Leichenbluten nachgewiesen werden konnte, führen wir auf eine geringere bakterielle Verunreinigung der Lebendblutproben zurück. Dadurch, daß es nur in etwas mehr als 50 % der Blutproben vorkam und noch dazu die Werte sehr stark streuten, ist es zu erklären, daß sich der gemittelte Verlauf der Methyl-Äthyl-Ketonspiegel (siehe Abb.16, Kap. 3.8.) nicht eindeutig interpretieren läßt. Die Werte liegen zu weit auseinander, um eine sichere Aussage über den Konzentrationsverlauf treffen zu können.

Es läßt sich lediglich feststellen, daß diese Substanz in faulendem Blut neugebildet werden kann. Hierbei erscheint eine spontane Neubildung, durch Bakterienwachstum bedingt, als wahrscheinlich.

4.9. Butanol₂

In ihrer Arbeit über die postmortale Entstehung von Alkoholen durch Fäulnis wiesen Osterhaus und Johannesmeier(17) auch die Neubildung von Butanol₂ in 44 % der von ihnen untersuchten Blutproben nach. Dieses Ergebnis stimmt in etwa mit dem unseres Versuchs überein. Wir fanden in ca. 60 % der Proben neugebildetes Butanol₂. Die Differenz von 16 % ist wahrscheinlich durch die zufällige Auswahl des Untersuchungsguts bedingt.

Diese Substanz wird im endogenen Stoffwechsel des Organismus nicht gebildet. Somit ist sie unter physiologischen Bedingungen nicht im Blut enthalten. Nach Bonte (5) kommt Butanol₂ lediglich in Obstbranntweinen in höheren Konzentrationen vor und ist nach Genuß derartiger Getränke in geringen Mengen im Blut nachweisbar.

Die Neubildung dieses Alkohols, die meist innerhalb der ersten Woche durch bakterielles Wachstum eintrat, fand in Nüchternbluten

wie in Alkoholisiertenbluten gleichermaßen statt. Die Tatsache, daß sich Butanol₂ nur in Leichenblut fand, führen wir auf geringere bakterielle Verunreinigung der Lebendblutproben zurück.

Auffällig ist jedoch, daß in allen drei Gruppen, in die die Blutproben nach ihrem Alkoholisierungsgrad eingeteilt worden waren, die Werte bei der ersten Untersuchung annähernd gleich lagen, nämlich nahe der Nachweisgrenze des Gaschromatographen. Dann aber bildete die Gruppe der Blute mit mehr als 1,0 % Äthylalkoholgehalt doppelt soviel Butanol₂ neu wie die beiden anderen Gruppen. Für dieses Phänomen, nämlich daß in den Blutproben von stark Alkoholisierten mehr Butanol₂ entstand als in den anderen Gruppen, kann hier keine Erklärung gegeben werden. Eventuell ist diese Erscheinung zufällig bedingt durch die geringe Anzahl der Proben, die diesen Alkohol enthielten. Um genauere Aussagen darüber machen zu können, wäre eine größer angelegte Untersuchung notwendig.

Dennoch lassen sich auch aus unseren Ergebnissen noch weitere Schlüsse ziehen: Aus dem kontinuierlichen Anstieg der Konzentration von einer Untersuchung zur anderen kann man folgern, daß bei Auftreten von Butanol₂ in einer fauligen Blutprobe der Spiegel am Entnahmetag des Blutes sicher niedriger gelegen ist, und somit bei geringem Butanol₂-Spiegel eventuell der Ausschluß des Konsums von Obstbranntwein geführt werden kann.

Mit Hilfe von Abbildung 18 (siehe Kap. 3.9.), die den gemittelten Anstieg der Butanol₂-Konzentration zeigt, läßt sich unter Berücksichtigung der Streuung eine vorsichtige Rückrechnung auf den Spiegel am Entnahmetag der Blutprobe anstellen.

4.10. Isobutanol

Nach Bonte (3),(4),(5) ist dieser höhere Alkohol in fast sämtlichen alkoholischen Getränken in relativ hohen Konzentrationen vorhanden. Er kommt in Wein, Bier und den meisten hochprozentigen Alkoholika vor. In unserem Versuch wurde er jedoch bei keiner einzigen Analyse erfaßt. Diese Diskrepanz ist durch die besondere Verstoffwechselung dieses Alkohols im Organismus bedingt: Isopropanol wird zwar wie Äthanol und die übrigen Begleitsubstanzen alkoholischer Getränke im Magen-Darm-Trakt resorbiert, dann jedoch, anders als die meisten anderen höheren Alkohole, bereits bei der ersten Leber-

passage wieder aus der Blutbahn eliminiert, indem es an Glucuronsäuren und Sulfate gebunden und rasch renal ausgeschieden wird. Diese schnelle Ausscheidung ist dadurch bedingt, daß Isobutanol toxisch ist und als verzweigtkettiger Alkohol sehr schlecht wasserlöslich ist. Dadurch ist diese Substanz im Blut nicht transportierbar. Durch die Bindung an sehr gut wasserlösliche Glucuronsäuren und Sulfate wird die Transportfähigkeit erhöht, und das Gift kann rasch über die Nieren ausgeschieden werden.

Dieser besondere Stoffwechselweg erklärt, warum wir Isobutanol in keiner einzigen Analyse nachweisen konnten, obwohl bekannt ist, daß dieser Alkohol in fast allen alkoholischen Getränken enthalten ist.

4.11. Essigsäureäthylester

Nach Bonte (3),(4),(5) ist diese Substanz besonders in hochprozentigen alkoholischen Getränken enthalten, und zwar hauptsächlich in Obstbranntweinen, Whiskysorten und Weinbränden. In Wein und Bier findet man sie zwar auch, aber in wesentlich niedrigeren Konzentrationen. Unter physiologischen Bedingungen kommt der Ester im Blut nicht vor. Er kann also nur als Begleitsubstanz gewisser Alkoholika oder durch Fäulnis ins Blut gelangen. Dies erklärt, warum wir nur bei sehr wenigen Blutproben, die wiederum alle mehr als 0,9 % Alkohol enthielten, bereits bei der ersten Analyse gleich nach Entnahme des Blutes Essigsäureäthylester nachweisen konnten. Bei den darauffolgenden Untersuchungen fand sich diese Substanz in immer mehr Proben, und zwar in Nüchternbluten wie in Alkoholisiertenblutproben. Das bedeutet, daß eine echte Neubildung, durch Wachstum von Bakterien oder Hefen bedingt, stattfand. Die Entstehung des Esters setzte bei einigen Proben erst nach 14 Tagen ein. Daraus läßt sich schließen, daß es sich hierbei um eine Reaktion handelt, die stark vom Milieu in der Blutprobe abhängt.

Da die äußeren Bedingungen aller untersuchten Blute gleich waren, scheint besonders der Art der Bakterien in der Probe Bedeutung zuzukommen. Das ausschließliche Auftreten von Essigsäureäthylester in Leichenblutproben führen wir auf die stärkere bakterielle Verunreinigung bei Leichenbluten als bei Lebendblut-

proben zurück.

Unerklärlich ist noch, warum in Bluten mit einem Promillegehalt von mehr als 1,0 ‰ wesentlich mehr Substanz neugebildet wurde als in den beiden anderen Gruppen. Dieselbe Erscheinung warf bereits bei Butanol₂ (siehe Kap. 4.9.) Probleme auf.

Der geradlinige Konzentrationsanstieg dieses Esters (siehe Abb. 20, Kap. 3.11.) ermöglicht es, bei Auffinden von Zeichen begonnener Fäulnis in einer Blutprobe unter Berücksichtigung der Streuung noch vorsichtige Rückschlüsse zu ziehen bezüglich des ursprünglichen Gehalts an Essigsäureäthylester zum Entnahmezeitpunkt der Probe. Ferner besteht die Möglichkeit, den Konsum einiger alkoholischer Getränke, wie Whisky, Obstbranntwein und Weinbrand, mit gewisser Wahrscheinlichkeit für den Fall auszuschließen, daß in einer fauligen Blutprobe keine oder sehr niedrige Konzentrationen dieses Esters gefunden werden. Nach dem Genuß derartiger Getränke und zusätzlicher Blutfäulnis wären nämlich stark erhöhte Spiegel an Essigsäureäthylester zu erwarten.

4.12. n-Butanol

Osterhaus und Johannesmeier (17) wiesen im Jahre 1966 die Neubildung dieses Alkohols in 6 % der von ihnen untersuchten faulenden Blutproben nach. Die Tatsache, daß er in unserem Untersuchungsgut wesentlich häufiger analysiert wurde, läßt sich durch Verfeinerung der Trennsäule des Gaschromatographen im Laufe der Jahre erklären.

Im körpereigenen Stoffwechsel fällt dieser Alkohol nicht an. Nach Bonte (5) kann er höchstens als Begleitsubstanz von Obstbranntweinen durch Genuß derartiger Getränke in Mengen bis zu 0,1 mg/l im Blut gefunden werden. Konzentrationen, die über diesem Wert liegen, sind stets als sicheres Zeichen dafür anzusehen, daß in der Probe Fäulnis eingesetzt hat. Diese Substanz stellt also für die forensische Medizin den typischen "Fäulnisalkohol" dar. Wird n-Butanol in einer Menge von mehr als 0,1 mg/l in einer Blutprobe gemessen, so wurde bis jetzt jegliche Beurteilung der Blutalkoholkonzentration zu Gunsten des Überprüften abgelehnt.

Die Neubildung dieser Substanz setzte meist während der ersten Woche der Untersuchung ein, und zwar in Nüchternbluten wie in

Alkoholisiertenbluten. Nach drei Wochen waren in allen drei Gruppen, in die die Blutproben nach ihrem Ausgangsäthanolgehalt eingeteilt worden waren, annähernd gleiche Mengen neugebildet worden. Hieraus läßt sich der Schluß ziehen, daß die Entstehung von n-Butanol in faulendem Blut unabhängig vom Äthanolgehalt abläuft. Man kann also nicht sagen, daß in Blutproben mit hohem Promillegehalt eine langsamere oder raschere Neubildung dieses Fäulnisalkohols auftritt. Hierfür spricht auch die Tatsache, daß die Entstehung von n-Butanol in gleichvielen Nüchternblutproben wie Alkoholisiertenblutproben stattfand.

Es läßt sich feststellen, daß dieser Alkohol durch Fäulnis von Blut in seiner Konzentration zunimmt. Das zeigt auch Abbildung 22 (siehe Kap. 3.12.), deren linearer Kurvenanstieg bei Berücksichtigung der Streuung eine wahrscheinliche Aussage erlaubt, wie sich der Konzentrationsverlauf des n-Butanols in einer fauligen Blutprobe entwickelt.

4.13. Pentanol₂

Das Auftreten dieser Substanz im Rahmen unserer Untersuchung war zu unregelmäßig, um daraus irgendwelche Rückschlüsse ziehen zu können. Es ist uns nicht klar, warum bei der einen Analyse ein Peak für diesen Alkohol analysiert wurde und bei der darauffolgenden Untersuchung Pentanol₂ nicht mehr zu finden war.

Wir wissen heute, daß diese Substanz in den meisten alkoholischen Getränken enthalten ist, daß sie aber wegen ihrer Toxizität und ihrer schlechten Wasserlöslichkeit sehr schnell aus der Blutbahn eliminiert wird. Dieselbe Erscheinung wurde bereits bei Isobutanol (siehe Kap. 4.10.) beschrieben.

Aus unseren Ergebnissen läßt sich bezüglich dieses Alkohols lediglich folgern, daß eine echte Neubildung weder bewiesen noch widerlegt werden konnte. Durch das unregelmäßige Auftreten von Pentanol₂ lassen sich aus unseren Resultaten keine für die forensische Medizin brauchbaren Schlüsse ziehen.

4.14. n-Pentanol

4.15. Isoamylalkohol

4.16. Tertiäramylalkohol

Diese drei Alkohole sind, wie man heute weiß, in annähernd sämtlichen Alkoholika enthalten. Dennoch wurden sie während unserer Untersuchung bei keiner einzigen Analyse erfaßt. Dieser scheinbare Widerspruch läßt sich dadurch erklären, daß diese Substanzen nach ihrer Resorption im Magen-Darm-Trakt dasselbe Schicksal erleiden, wie bei Isobutanol (siehe Kap. 4.10.) beschrieben: Aufgrund ihrer Toxizität und ihrer schlechten Wasserlöslichkeit werden sie schon bei der ersten Leberpassage aus der Blutbahn eliminiert, indem sie an Glucuronsäuren und Sulfate gebunden werden und anschließend rasch renal ausgeschieden werden. Auf diese Weise läßt sich erklären, warum diese Stoffe zwar in den alkoholischen Getränken vorkommen, jedoch im Blut nie nachzuweisen sind.

Aus den Ergebnissen unserer Untersuchung läßt sich lediglich die Schlußfolgerung ziehen, daß diese Substanzen durch Blutfäulnis nicht neugebildet werden.

4.17. Fehlerdiskussion

Durch den experimentellen Versuch, der dieser Arbeit zugrunde liegt, bedingt, können sich an mehreren Stellen unbemerkt Fehler eingeschlichen haben.

Eine mögliche Quelle findet sich bereits bei der Auswahl der Blutproben. Obwohl sehr darauf geachtet wurde, nur von frisch Verstorbenen Blut zu entnehmen, wurde dennoch in einer Probe schon bei der ersten Untersuchung gleich nach der Asservierung eine n-Butanol-Konzentration von 0,98 mg/l festgestellt, was als Zeichen für begonnene Blutfäulnis zu werten ist. Es ist denkbar, daß auch in anderen Blutproben unbemerkte Veränderungen stattgefunden haben. Es wurden für den Versuch nur Leichen ausgewählt, bei denen zwischen Eintritt des Todes und Sektion

weniger als 10 Stunden vergangen waren. Trotzdem ist es möglich, daß auch während dieser kurzen Zeitspanne in den Blutproben bereits gewisse Veränderungen abgelaufen sind, deren Grad für jede Probe unterschiedlich ist und unter anderem von der Zeit zwischen Tod und Asservierung des Blutes abhängt.

Eine weitere Fehlerquelle ergibt sich aus der Art der Gewinnung der Blutproben. Bei einigen Proben wurde Herzblut asserviert, da nicht genügend Schenkelvenenblut zur Verfügung stand. Nach Weinig und Lautenbach (28) ist die Wahrscheinlichkeit einer raschen bakteriellen Kontamination bei Herzblut wesentlich größer als bei Schenkelvenenblut. Dies ist dadurch bedingt, daß Bakterien bei Invasion von Magen oder Lunge her viel kürzere Strecken zu überwinden haben als bei Invasion durch Muskelgewebe.

Da die Blutentnahme während der Sektion alles andere als steril ist, werden die Proben dabei mit verschiedenen Bakterien oder Pilzen infiziert. Die Art des jeweils vorherrschenden Bakterienstamms kann die fäulnisbedingten Veränderungen in einer Blutprobe beeinflussen. Es ist also wahrscheinlich, daß die einzelnen Proben bereits bei der Entnahme mit unterschiedlichen Bakterien infiziert worden sind, die dann auch die Veränderungen während der Zeit der Fäulnis beeinflussen.

Weitere Ungenauigkeiten sind bei der Vorbereitung der Proben denkbar. Das bei der Untersuchung verwendete Vollblut blieb, durch seine hohe Viskosität bedingt, teilweise an den Kunststoffspitzen der verwendeten Eppendorf-Pipetten hängen. Dies traf besonders für die letzteren Untersuchungen zu, bei denen die Blute manchmal Gerinnsel enthielten. Um den Fehler bei solch partiell geronnenen Proben möglichst gering zu halten, wurden diese mit einer 0,5 ml-Auslaufpipette abgemessen. Der Fehler bei der Zugabe des Standards ist im Rahmen der Meßgenauigkeit der verwendeten Eppendorf-Pipette einzuschätzen.

Der Rechner des Gaschromatographen hatte die Eigenheit, sehr niedrige Konzentrationen ($< 1,0$ mg/l) bis auf fünf Stellen hinter dem Komma genau anzugeben. Bei Werten über 1,0 mg/l rundete er auf ganze Zahlen auf. Dadurch traten Ungenauig-

keiten bei der Verlaufsbeschreibung solcher Substanzen auf, deren Mengen im Laufe des Versuchs von sehr niedrigen Werten ($\ll 1,0$ mg/l) auf höhere Konzentration anstiegen.

Unerklärlich ist auch die Tatsache, weshalb der Gaschromatograph bei ein paar Analysen für einige mit sehr großer Wahrscheinlichkeit in der Probe enthaltene Substanzen keine Peaks aufzeichnete. Dieses Phänomen wurde unter Kapitel 3.1. und 3.2. beschrieben.

5. Zusammenfassung

32 Blutproben mit unterschiedlichem Promillegehalt, genauer 26 Leichenblute und sechs Blutproben von lebenden Probanden, wurden drei Wochen lang bei Zimmertemperatur stehengelassen und zu genau festgelegten Zeiten untersucht. Die Proben wurden mit Hilfe eines Gaschromatographen während der 21 Tage fünfmal analysiert. Dabei wurde gemessen, wie sich die im Blut enthaltenen flüchtigen Substanzen bei beginnender Blutfäulnis in ihrer Konzentration ändern.

Die wichtigsten Ergebnisse sind folgende:

- 1) Bei allen analysierten Substanzen fiel eine sehr große Streuung der Meßwerte auf. Dies war einerseits durch unterschiedlich ausgeprägten prämortalen Alkoholgenuß, andererseits durch verschiedenartigen Bakterienbefall des Blutes vor und während der Sektion bedingt.
- 2) In den steril abgenommenen Lebendblutproben, die dann zwar auch unsteril aufbewahrt worden waren, wurden geringere Veränderungen gefunden als in den Leichenbluten.
- 3) Methanol ist in Blutproben von alkoholisierten Probanden in höheren und rascher ansteigenden Konzentrationen enthalten als in solchen von Nüchternen. Es läßt sich in fauligen Blutproben ein vorsichtiger Rückschluß auf den ursprünglichen Methanolgehalt anstellen.
- 4) Auch Acetaldehyd wurde in Blutproben mit erhöhtem Promillegehalt in größeren und rascher ansteigenden Mengen gefunden als in Proben von Nüchternen. Das könnte damit zusammenhängen, daß Acetaldehyd ein Abbauprodukt von Äthanol darstellt. Ein vorsichtiger Rückschluß auf die Konzentration vor Einsetzen der Fäulnis ist möglich.
- 5) Äthanol wurde in größerer Menge neugebildet als bisher in der Literatur beschrieben, nämlich bis zu 3,38 % in drei Wochen. Die Neubildung von Äthylalkohol ist sehr wahrscheinlich, fand jedoch nicht in allen Fällen statt.
- 6) Aceton weist eine zu starke physiologische Schwankungsbreite auf, um irgendwelche Aussagen zu erlauben.
- 7) Isopropanol wurde in Blutproben von Alkoholisierten schneller neugebildet als in denen von Nüchternen. Es läßt sich eine vorsichtige Aussage bezüglich der Konzentration vor Beginn

der Fäulnis treffen.

- 8) Essigsäuremethylester wurde nie neugebildet. Wird er in einer fauligen Blutprobe analysiert, ist er wahrscheinlich als Begleitsubstanz rumhaltiger Getränke ins Blut gelangt.
- 9) N-Propanol wies eine zu große Streuung auf als daß sich aussagekräftige Rückschlüsse anstellen ließen. Bei sehr geringen n-Propanol-Mengen in einer fauligen Probe ist der vorausgegangene Genuß hochprozentiger alkoholischer Getränke unwahrscheinlich.
- 10) Methyl-Äthyl-Keton kann neugebildet werden. Wegen der zu großen Streuung sind keine weiteren Aussagen möglich.
- 11) Butanol₂ kann ebenso wie Essigsäureäthylester neugebildet werden. Ein vorsichtiger Rückschluß auf die Konzentrationen vor Einsetzen der Blutfäulnis ist bei beiden Substanzen möglich. Der vorausgegangene Genuß einiger hochprozentiger Alkoholika ist unwahrscheinlich, wenn in einer fauligen Probe nur niedrige Mengen dieser Stoffe gefunden werden.
- 12) Isobutanol, n-Pentanol, Isoamylalkohol und Tertiäramylalkohol werden durch Blutfäulnis nicht neugebildet.
- 13) N-Butanol wurde in den meisten Proben neugebildet. Es stellt ein sicheres Zeichen für Blutfäulnis dar; allerdings ist sein Fehlen kein Beweis dafür, daß in der Probe seit der Entnahme keinerlei Veränderungen stattgefunden haben.
- 14) Pentanol₂ wurde sehr unregelmäßig in einigen Proben neugebildet.

6. Literatur

- (1) Béchamp, J. ; Zitat nach (28)
- (2) Bonnichsen, R.K.; Theorell, K.;
An enzymatic method for the micro determination of ethanol
Scan. J. clin. Lab. Invest. 3,58 (1951)
- (3) Bonte, W.;
Begleitsubstanzen in Wein und weinähnlichen Getränken
Blutalkohol 15, 392-404 (1978)
- (4) Bonte, W.;
Begleitsubstanzen deutscher und ausländischer Biere
Blutalkohol 16, 108-124 (1979)
- (5) Bonte, W.; Decker, J.; Busse, J.;
Begleitsubstanzen hochprozentiger alkoholischer Getränke
Blutalkohol 15, 323-338 (1978)
- (6) Bonte, W.; et al.;
Experimentelle Untersuchungen zum Nachweis geringer Dosen
höherer aliphatischer Alkohole im Blut von Versuchsteilnehmern
Blutalkohol 18, 399-411 (1981)
- (7) Bonte, W.; Stoppelmann, G.; Rudell, E.; Sprung, R.;
Vollautomatischer Nachweis von Begleitstoffen alkoholischer
Getränke in Körperflüssigkeiten
Blutalkohol 18, 303 - 310 (1981)
- (8) Bücher, Th.; Redetzki, H.;
Eine spezifische photometrische Bestimmung von Äthylalkohol
auf fermentativem Weg
Klin. Wschr. 29, 615 (1951)
- (9) Hoffmann, A.;
Untersuchungen zur Blutalkoholbestimmung mit verschiedenen
Methoden
Inaug.-Diss. München 1972
- (10) Landsberg, G.; Zitat nach (28)
- (11) Machata, G.;
Über die gaschromatographische Blutalkoholbestimmung
Blutalkohol 4, 252 (1967)
- (12) Machata, G.; Prokop, L.;
Alkoholabbau und Acetaldehyd
Blutalkohol 8, 281-284 (1971)

- (13) Machata, G.; Prokop, L.;
Über Begleitsubstanzen alkoholischer Getränke im Blut
Blutalkohol 8, 349-353. (1971)
- (14) Maricq, L.; Molle, L.;
Recherches sur la détermination de l'alcoolémie par chromatographie
gazeuse
Bull. acad. méd. belg. 24, 199 (1959)
- (15) Mebs, D.; Schmidt, K.; Gerchow, J.;
Experimentelle Untersuchungen zur postmortalen Alkoholbildung
Blutalkohol 15, 145-150 (1978)
- (16) Osterhaus, E.;
Abschließende Ergebnisse gaschromatographischer Untersuchungen
zur Frage der postmortalen Neubildung von Methanol, Aceton und
n-Amylalkohol
Blutalkohol 10, 305-309 (1973)
- (17) Osterhaus, E.; Johannesmeier, K.;
Postmortale Entstehung von Alkoholen durch Fäulnis
Dtsch. Z. gerichtl. Med. 57, 281-284 (1966)
- (18) Paulus, W.; Janitzki, U.;
Untersuchungen am Leichenblut nach Widmark und nach der ADH-
Methode
Dtsch. Z. gerichtl. Med. 48, 403-410 (1959)
- (19) Perkin-Elmer GC-Automat Mulifract F 40 zur Dampfdruckanalyse
Prospekt der Fa. Bodenseewerk Perkin-Elmer & Co GmbH, Überlingen
- (20) Redetzki, H.; Johannesmeier, K.; Dotzauer, G.;
Fäulnis und Äthylalkohol
Dtsch. Z. gerichtl. Med. 41, 424 (1952)
- (21) Schomburg, G.;
Gaschromatographie
Weinheim 1977; Verlag Chemie, 1. Auflage
- (22) Schwerd, W.;
Die Beurteilung von Alkoholbefunden im Leichenblut
Dtsch. Z. gerichtl. Med. 43, 221 (1954)
- (23) Schwerd, W.; Garhammer, C.L.;
Über den Nachweis von niederen primären Alkoholen der aliphatischen
Reihe und deren Bildung in faulem Blut
Dtsch. Z. gerichtl. Med. 42, 75 (1953)

- (24) Sprung, R.; Frauenrath, C.; Rüdell, E.; Bonte, W.;
Einfluß der Begleitstoffe alkoholischer Getränke auf den Verlauf der Blutalkoholkonzentration
Blutalkohol 18, 311-314 (1981)
- (25) Wagner, K.;
Über die Veränderlichkeit des Alkoholgehalts von Leichenblut und nicht steril aufbewahrten Blutproben
Dtach. Z. gerichtl. Med. 26, 276(1936)
- (26) Weiler, G.; Reh, H.;
Der Beweiswert gaschromatographischer Blutalkoholbestimmungen bei Leichenfäulnis
Blutalkohol 11, 402-408 (1974)
- (27) Weinig, E.;
Eine Methode zur Alkoholbestimmung im Leichenblut
Dtach. Z. gerichtl. Med. 40, 318 (1951)
- (28) Weinig, E.; Lautenbach, L.;
Die Beurteilung von Alkoholbefunden in Leichenblutproben
Blutalkohol 1, 222 (1962)
- (29) Weinig, E.; Schwerd, W.; Lautenbach, L.;
Die Neubildung von Äthanol, Methanol und anderen Alkoholen im Leichenblut und ihre forensische Bedeutung
Beitrag z.gerichtl. Med. 21, 114-126 (1961)
- (30) Widmark, E.M.P.;
Die theoretischen Grundlagen und die praktische Verwendbarkeit der gerichtlich-medizinischen Alkoholbestimmung
Berlin und Wien (1932)

Für die Bereitstellung des Arbeitsplatzes bedanke ich mich bei Herrn Prof.Dr. W. Spann, dem Direktor des Instituts für Rechtsmedizin.

Ebenso gilt mein Dank Herrn Prof.Dr. E. Liebhardt für die Überlassung des Themas und die Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit.

Ganz besonderen Dank schulde ich Herrn Dr. R. Urban für die beratende Unterstützung bei meinen Versuchen.

Lebenslauf

Geburtstag und Geburtsort: 11.05.1959, Bochum

Eltern : Dr. Heinz Willmar, Diplom-
brauereingenieur
geboren am 22.09.1920
und
Cisela Willmar, geborene Kempa,
Hausfrau,
geboren am 08.06.1935

Schulbildung : 1965-1969 Grundschule
1969-1978 Gymnasium,
Abschluß Abitur

Studium : 1978-1985 Studium der Medizin an der
Ludwig-Maximilians-Universität
zu München
Frühjahr 1985 ärztliche Prüfung
15.05.1985 Erhalt der ärztlichen
Approbation

